



СБОРНИК ЗАДАЧ ПО КУРСУ ОБЩЕЙ ФИЗИКИ

Электричество и магнетизм

1989

ТАРТУСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
Кафедра общей физики

СБОРНИК ЗАДАЧ ПО КУРСУ ОБЩЕЙ ФИЗИКИ

Электричество и магнетизм

Составлено К. Куду

ТАРТУ 1989

Перевод четвертого исправленного и дополненного издания на эстонском языке О. Манкин.

Утверждено на заседании совета физико-химического факультета 30 ноября 1987 г.

Настоящий сборник задач предназначен преимущественно для студентов физико-химического факультета. Поскольку многие задачи посильны и студентам других специальностей, то сборник носит более универсальный характер и его можно рекомендовать и для студентов инженерных факультетов. Большую работу над переводом и редактированием задачника выполнила О. Манкин, которой выражаю искреннюю благодарность. Добрым словом хотел бы отметить тщательную работу Л. Таррасте, перепечатавшей текст для ротапринта.

Составитель

І. ЭЛЕКТРОСТАТИКА

Взаимодействие точечных зарядов

- І.І. Вычислить силу, с которой отталкиваются два шарика, несущие одноименные заряды по 1 Кл , если расстояние между их центрами равно 1 км .
- І.2. Два одинаковых металлических шарика заряжены положительным электричеством по $+1 \text{ СГСЭ} q$. Какова должна быть масса этих шариков, чтобы электрическая сила отталкивания между ними была равна гравитационной силе притяжения?
- І.3. Определить отношение электрической силы отталкивания к гравитационной силе притяжения для двух электронов (двух протонов). Каковы должны быть удельные заряды двух одинаковых заряженных частиц, чтобы силы эти были по модулю одинаковы?
- І.4. С какой силой взаимодействовали бы два медных шарика массой по 1 г , если бы расстояние между ними равнялось 1 м , а суммарный заряд электронов отличался бы от заряда ядер на 1% ?
- І.5. Согласно элементарной теории электрон в атоме водорода движется вокруг протона по круговой орбите. Какова должна быть скорость электрона в основном состоянии атома, если радиус орбиты при этом равен 53 пм ?
- І.6. Два одноименных точечных заряда находятся на некотором расстоянии друг от друга. В каком равновесии может находиться третий заряд, расположенный между ними? Знак третьего заряда может быть одинаков со знаком первых двух или противоположен ему.
- І.7. Расстояние d между двумя положительными точечными зарядами $q_1 = q$ и $q_2 = 4q$ равно 60 см . Где следует

расположить третий заряд, чтобы он оказался в равновесии?

- I.8. а) Три одинаковых заряда q расположены в вершинах равностороннего треугольника. Какой заряд Q следует поместить в центре этого треугольника, чтобы его действие уравновесило силы отталкивания между зарядами?
б) Решить аналогичную задачу в предположении, что четыре одинаковых заряда q находятся в вершинах квадрата, а уравновешивающий заряд Q помещают в центр квадрата.

I.9. Два одинаковых шарика массой $0,1$ г каждый подвешены на нитях длиной по 10 см, закрепленных в одной точке. После сообщения шарикам одинаковых зарядов они отталкиваются так, что нити образуют угол 60° . Определить величину зарядов на шариках.

I.10. Три одинаковых маленьких шарика массой $0,1$ г каждый висят на нитях одинаковой длины 20 см, закрепленных в одной точке. Какие заряды надо сообщить шарикам, чтобы все нити отклонились от вертикали на угол 30° ?

Напряженность электрического поля системы точечных зарядов

- I.11. Два точечных заряда q_1 и q_2 находятся на расстоянии d друг от друга. Найти точку, в которой напряженность электрического поля равна нулю. Заряды могут быть как одного так и противоположных знаков.
- I.12. Два точечных заряда по $+100$ ГСЭ $_q$ находятся на расстоянии 8 см друг от друга. Определить напряженность электрического поля в точке, находящейся на расстоянии 5 см от обоих зарядов.
- I.13. Два одинаковых положительных точечных заряда $q_1 = q_2 = q$ находятся на расстоянии $d = 10$ см друг от друга. Через середину отрезка, соединяющего эти заряды, проведена перпендикулярная к нему прямая. Найти на этой прямой точку, в которой напряженность электрического

поля максимальна.

- I.14. Точечные заряды $-81 \text{ СГСЭ } q$ и -96 нКл находятся друг от друга на расстоянии 15 см . Чему равна напряженность электрического поля в точке, расстояние которой от первого заряда равно 9 см , а от второго 12 см ?
- I.15. Электрическое поле создано двумя точечными зарядами 30 нКл и -10 нКл , находящимися на расстоянии 20 см друг от друга. Найти напряженность электрического поля в точке, лежащей от первого заряда на расстоянии 15 см , а от второго на расстоянии 10 см .
- I.16. Три одинаковых точечных заряда по 1 нКл расположены в вершинах прямоугольного треугольника. Найти напряженность электрического поля в точке, являющейся основанием высоты треугольника, проведенной из вершины прямого угла. Катеты треугольника равны 40 см и 30 см .
- I.17. В трех вершинах квадрата со стороной 10 см расположены одинаковые точечные заряды по $+100 \text{ СГСЭ } q$, в четвертой заряд $-100 \text{ СГСЭ } q$. Вычислить напряженность электрического поля в центре квадрата.
- I.18. Вывести формулу для вычисления напряженности электрического поля диполя.

Напряженность электрического поля заряженных тел

- I.19. Найти напряженность электрического поля E равномерно заряженной бесконечно длинной прямой нити с линейной плотностью заряда τ на расстоянии z от нее.
- I.20. Длина равномерно заряженной прямой нити $\ell = 25 \text{ см}$. На каком предельном расстоянии R от нити на перпендикуляре, проведенном через ее середину, можно напряженность электрического поля рассматривать, как в случае бесконечно длинной нити? Ошибка δ , допускаемая при такой замене, не должна превышать 5% .
- I.21. Длина равномерно заряженной прямой нити ℓ , линейная плотность заряда на ней τ . Найти напряженность электрического поля E в точке, расположенной симметрично

относительно обоих концов нити на расстоянии a от нее.

- I.22. Линейная плотность заряда равномерно заряженной длинной прямой нити τ . Найти напряженность электрического поля E в точке, лежащей на перпендикуляре, проведенном к нити через один из ее концов, на расстоянии a от нее.
- I.23. Длина равномерно заряженной прямой нити ℓ , полный заряд ее q . Найти напряженность электрического поля E на продолжении нити на расстоянии a от ближнего ее конца.
- I.24. Длина равномерно заряженной прямой нити $\ell = 20$ см, линейная плотность заряда на ней $\tau = 10$ нКл/м. На расстоянии $a = 10$ см от нити на перпендикуляре, проведенном к нити через ее середину, находится точечный заряд $q = 1$ нКл. Найти силу F , действующую на этот заряд.
- I.25. Две бесконечно длинные прямые параллельные нити находятся на расстоянии 2 см друг от друга. Обе нити заряжены равномерно с одинаковой линейной плотностью заряда 30 нКл/см. Определить силу отталкивания между нитями на каждый метр длины нити.
- I.26. Две бесконечно длинные тонкие прямые проволоки расположены параллельно на расстоянии d друг от друга. Проволоки заряжены равномерно с линейной плотностью заряда $+\tau$ и $-\tau$. Определить напряженность электрического поля E в точке плоскости симметрии этих проволок, находящейся на расстоянии x от плоскости, в которой лежат сами проволоки.
- I.27. Две длинные прямые нити, заряженные равномерно одноименными зарядами, расположены параллельно на расстоянии 10 см друг от друга. Линейные плотности заряда на нитях одинаковы и равны 0,1 мкКл/см. Определить величину и направление напряженности электрического поля в точке, находящейся на расстоянии 10 см от обеих нитей.

- I.28. Две длинные прямые нити заряжены равномерно с линейной плотностью заряда τ и расположены параллельно на расстоянии a друг от друга. Найти максимальное значение напряженности E электрического поля в плоскости симметрии этих нитей.
- I.29. Электрическое поле создает равномерно заряженная нить, образующая три стороны квадрата. Длина стороны квадрата 20 см. Линейная плотность заряда на нити 0,5 мкКл/м. Найти напряженность электрического поля в середине отсутствующей стороны квадрата.
- I.30. Две тонких прямых нити, длины которых 16 см и 12 см, заряжены равномерно с одинаковой линейной плотностью заряда 0,4 мкКл/м. Нити образуют прямой угол (см. рис. I.1). Определить напряженность электрического поля в точке 0.

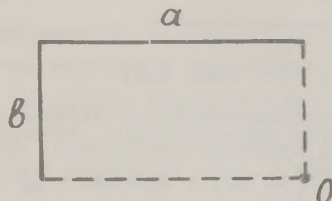


Рис. I.1.

- I.31. Заряд 50 ГСЭ q распределен равномерно на тонком кольце, радиуса 5 см. Определить напряженность электрического поля а) в центре кольца, б) в точке оси на расстоянии 10 см от центра, в) найти максимальное значение напряженности электрического поля на оси кольца.
- I.32. Заряд q распределен равномерно на тонком кольце радиуса R . Вдоль оси кольца натянута тонкая длинная нить так, что один ее конец находится в центре кольца. Нить заряжена равномерно с линейной плотностью заряда τ . Определить силу F , действующую на эту нить.
- I.33. Тонкое полукольцо радиуса R несет равномерно распределенный заряд q . Определить напряженность электрического поля E в центре кривизны полукольца.

- I.34. Из тонкой нити изготовлено кольцо радиуса R и заряжено с линейной плотностью заряда $\tau = \tau_0 \cos \varphi$, где τ_0 постоянная величина, а φ азимут. Найти напряженность электрического поля E в центре кольца.
- I.35. Длинная тонкая нить, заряженная равномерно с линейной плотностью заряда τ , имеет форму, показанную на рис. I.2, а и б. Найти напряженность электрического поля в точке O .

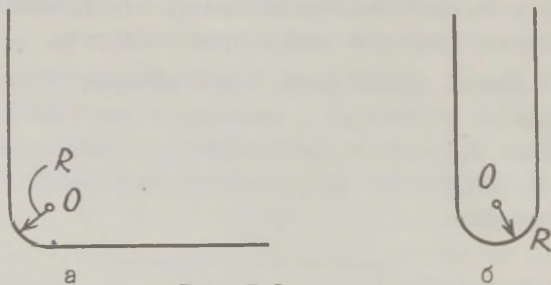


Рис. I.2.

- I.36. Определить напряженность электрического поля E в центре кривизны плоского полукольца, внутренний радиус которого $R_1 = 90$ см, а внешний $R_2 = 1$ м, заряженного равномерно с поверхностной плотностью заряда $\sigma = 10$ мкКл/см².
- I.37. Определить напряженность электрического поля E диска радиуса R , несущего равномерно распределенный заряд q , в точке его оси, находящейся на расстоянии h от центра диска.
- I.38. Радиус равномерно заряженного диска $R = 25$ см. На каком предельном расстоянии h от диска по его оси можно электрическое поле рассматривать, как поле бесконечной равномерно заряженной плоскости, чтобы погрешность ϵ при этом не превышала 5 %?
- I.39. Большая плоская пластина заряжена равномерно с поверхностной плотностью заряда σ . В середине пластины имеется круглое отверстие, радиус R которого мал по сравнению с размерами пластины. Определить напряженность поля E на оси этого отверстия на расстоянии h

от его центра.

I.40. Представить на одном и том же рисунке зависимость напряженности электрического поля E от расстояния r в интервале $1 \text{ см} \leq r \leq 5 \text{ см}$ для следующих электрических полей: а) точечного заряда величиной $100 \text{ СГСЭ } q$; б) бесконечно длинной прямой равномерно заряженной нити с линейной плотностью заряда $16,7 \text{ нКл/см}$; в) бесконечно большой равномерно заряженной плоскости с поверхностной плотностью заряда $2,5 \text{ нКл/см}^2$.

I.41. Две большие параллельные металлические пластины площадью S каждая несут одинаковые равномерно распределенные заряды q . Какова напряженность электрического поля E в пространстве а) между пластинами и б) вне их?

I.42. Равномерно заряженные большие параллельные пластины расположены на небольшом расстоянии друг от друга (рис. I.3). Вычислить поверхностные плотности заряда σ на пластинах, если известны значения напряженности полей $E_A = 3 \text{ кВ/м}$ и $E_B = 1 \text{ кВ/м}$.

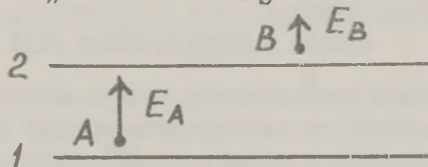


Рис. I.3.

I.43. Две бесконечно большие плоскости, заряженные равномерно с поверхностной плотностью заряда $+\sigma$ и $+2\sigma$, расположены перпендикулярно друг к другу. Определить напряженность электрического поля E , создаваемого этими плоскостями.

I.44. Две бесконечно большие равномерно заряженные плоскости пересекаются, образуя угол 60° . Обе плоскости заряжены с поверхностной плотностью заряда $0,1 \text{ мкКл/м}^2$. Найти напряженность электрического поля, создаваемого этими плоскостями, и нарисовать картину линий напряженности поля.

- I.45. С какой силой действует равномерно заряженная бесконечно большая плоскость на каждый метр длины бесконечно длинной равномерно заряженной нити, параллельной плоскости, если известна поверхностная плотность заряда пластины 2 нКл/см^2 и линейная плотность заряда нити 30 нКл/см .
- I.46. Вертикально расположенная бесконечно большая пластина заряжена равномерно с поверхностной плотностью заряда 10 СГСЭ . К пластине прикреплен подвешенный на нити заряженный шарик массой 1 г . Определить заряд шарика, если нить подвеса отклонилась на угол 30° .
- I.47. Найти напряженность электрического поля E равномерно заряженной полусферы (поверхностная плотность заряда σ) в центре ее кривизны.
- I.48. Определить силу взаимодействия F двух половин равномерно заряженной сферы радиуса R , несущей заряд q .
- I.49. Как изменится результат предыдущей задачи, если в центр сферы поместить точечный заряд q_0 ?

Диполь в электрическом поле

- I.50. В однородное электрическое поле с напряженностью 30 кВ/м помещен диполь из элементарных зарядов с плечом 39 пм . Диполь образует с полем угол 30° . Найти вращающий момент, действующий на диполь.
- I.51. Найти силу F , с которой действует точечный заряд $q = 30 \text{ мКл}$ на свободный диполь с электрическим моментом $p_e = 0,3 \text{ нКл}\cdot\text{м}$, находящийся на расстоянии $z = 30 \text{ см}$ от него.
- I.52. Диполь с электрическим моментом $10 \text{ пКл}\cdot\text{м}$ находится на расстоянии 20 см от бесконечно длинной равномерно заряженной нити с линейной плотностью заряда $0,1 \text{ мКл/м}$. Определить силу, действующую на диполь, если он расположен перпендикулярно нити.
- I.53. неполярная молекула, коэффициент поляризации которой α , находится на большом расстоянии z от полярной

молекулы, электрический момент которой \vec{p}_e . Определить силу взаимодействия этих молекул \vec{F} , если вектор \vec{p}_e направлен вдоль прямой, соединяющей молекулы.

- I.54. Молекулу воды можно рассматривать как диполь с электрическим моментом $1,85 \cdot 10^{-18}$ СГСЭ_р. а) Определить длину плеча диполя, считая его заряды равными заряду электрона. б) Определить напряженность электрического поля на оси диполя и на перпендикуляре, проведенном через его середину, на расстоянии 300 нм от середины диполя. в) Молекула воды и ион водорода находятся на расстоянии 300 нм друг от друга. Определить максимальное и минимальное значение силы взаимодействия их, а также максимальное и минимальное значение вращающего момента, действующего на диполь.
- I.55. На оси равномерно заряженного тонкого кольца радиуса R находится неполярная молекула. На каком расстоянии x от плоскости кольца сила F , действующая на молекулу, равна нулю и где она максимальна? Начертить приближенный график зависимости $F(x)$.

Вычисление напряженности электрических полей по теореме Гаусса

- I.56. Найти поток вектора напряженности электрического поля Φ через замкнутую цилиндрическую поверхность, вдоль оси которой натянута тонкая равномерно заряженная бесконечно длинная нить с линейной плотностью заряда τ . Радиус цилиндра R , длина его h .
- I.57. Расстояние между двумя точечными зарядами $+q$ и $-q$ равно $2a$ (рис. I.4). Вычислить поток вектора напряженности электрического поля Φ через круг радиуса R .

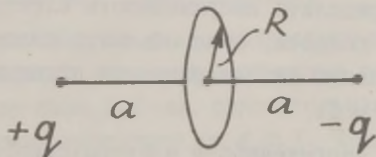


Рис. I.4.

- I.58. Равномерно заряженная длинная нить с линейной плотностью заряда τ натянута вдоль оси круга радиуса R , причем один конец ее находится в центре круга. Вычислить поток вектора напряженности электрического поля Φ через площадь этого круга.
- I.59. При напряженности электрического поля приблизительно 30 кВ/см воздух перестает быть изолятором и в нем может начаться искровой разряд. Каков должен быть радиус шара R , чтобы на его поверхности удерживался заряд в 1 Кл?
- I.60. Радиусы двух равномерно заряженных концентрических сфер равны 8 см и 15 см, а заряды на них соответственно 0,3 мкКл и 0,5 мкКл. Найти напряженность электрического поля в точках на расстоянии а) 5 см, б) 10 см и в) 20 см от центра сфер.
- I.61. Шар радиуса $R = 2$ см заряжен равномерно с объемной плотностью заряда $\rho = 0,7$ СГСЭ ρ . Найти напряженность электрического поля E на расстоянии $r_1 = 1$ см и $r_2 = 3$ см от центра шара.
- I.62. Объемная плотность заряда ρ шара зависит только от расстояния r до его центра: $\rho = \rho_0 \left(1 - \frac{r}{R}\right)$, где ρ_0 постоянная величина, а R радиус шара. В предположении, что относительная диэлектрическая проницаемость как материала шара так и окружающей его среды $\epsilon = 1$, определить: зависимость напряженности электрического поля E от расстояния r , а также максимальное значение напряженности электрического поля E_{\max} и соответствующее ему значение r_m .
- I.63. Внутри равномерно заряженного шара имеется сферическая полость, центр которой смещен относительно центра шара на \vec{r} . Определить напряженность электрического поля E внутри полости, зная объемную плотность заряда ρ и относительную диэлектрическую проницаемость материала шара $\epsilon = 1$.
- I.64. Определить напряженность электрического поля \vec{E} внутри полости, возникающей при пересечении двух равномер-

но заряженных шаров. Объемные плотности заряда шаров равны ρ и $-\rho$, а расстояние между их центрами $2a$.

- I.65. Как должны быть распределены заряды на сфере радиуса R , чтобы внутри сферы возникло однородное электрическое поле напряженностью E ? (Должны ли эти заряды быть одноименными или противоположными по знаку? Как должна зависеть поверхностная плотность заряда σ от полярного угла ϑ ?) Каким будет в этом случае электрическое поле вне сферы?
- I.66. В вакууме возникла цилиндрическая (радиус R) совокупность равномерно распределенных зарядов с объемной плотностью ρ . Найти напряженность электрического поля E а) внутри и б) вне цилиндра.
- I.67. Длинный цилиндр радиуса $R = 2$ см, относительная диэлектрическая проницаемость материала которого $\epsilon = 1$, заряжен равномерно с объемной плотностью заряда $\rho = 50$ СтСз. Определить напряженность электрического поля E на расстоянии $z_1 = 0,2$ см и $z_2 = 20$ см от оси цилиндра.
- I.68. Внутри бесконечно длинного равномерно заряженного цилиндра с относительной диэлектрической проницаемостью $\epsilon = 1$ и объемной плотностью заряда ρ имеется цилиндрическая полость, ось которой параллельна оси цилиндра и находится на расстоянии z от нее. Определить напряженность электрического поля E внутри полости.
- I.69. Длинный металлический цилиндр радиуса R можно представить себе состоящим из двух полуцилиндров. Определить силу взаимодействия F этих полуцилиндров на единицу их длины, зная величину заряда τ , приходящегося на единицу длины цилиндра.
- I.70. Большая пластина из диэлектрического материала заряжена равномерно с объемной плотностью заряда $0,8$ СтСз. Толщина пластины $0,5$ см, относительная диэлектрическая проницаемость материала ее $\epsilon \approx 1$. Чему равна напряженность электрического поля: внутри пластины а) на рас-

стоянии 0,15 см от плоскости симметрии ее, б) в самой плоскости симметрии, и в) вне пластины?

Работа перемещения заряда в электрическом поле

- I.71. Два точечных заряда $+100$ нКл и -10 нКл расположены на расстоянии 1 см друг от друга. Сколько работы нужно совершить, чтобы удалить один заряд от другого: а) в бесконечность, б) на расстояние 1 м?
- I.72. В точках M и N электрического поля точечного заряда $q = 3$ нКл напряженность поля $E_M = 30$ кВ/см, а $E_N = 1,2$ кВ/см. Найти работу A , совершаемую при переносе заряда $q_0 = 10$ пКл из точки M в точку N .
- I.73. В вершинах прямоугольника со сторонами 3 см и 4 см находятся одинаковые положительные точечные заряды по 3 нКл каждый. Найти работу переноса заряда 9 СГСЭ q из центра этого прямоугольника в бесконечность.
- I.74. Две частицы, массы которых m_1 и m_2 , а заряды $+q_1$ и $+q_2$ движутся навстречу друг другу. При большом расстоянии между частицами относительная скорость их v . На какое расстояние z_{min} могут эти частицы приблизиться друг к другу?
- I.75. Положительно заряженный шарик, масса которого 40 мг, а заряд 1 нКл, приближается к находящемуся на его пути точечному заряду 4 СГСЭ q . На какое расстояние может шарик приблизиться к заряду, если на большом расстоянии от него скорость его была 10 м/с?
- I.76. α -частица, вылетевшая из ядра атома при его радиоактивном распаде со скоростью $v = 16$ Мм/с, движется в направлении неподвижного ядра атома натрия. На какое наименьшее расстояние z_{min} может она приблизиться к этому ядру?
- I.77. Две параллельные пластины A (анод) и K (катод) находятся в вакууме на расстоянии 10 см друг от друга. Напряжение, приложенное к пластинам, 5 В. При облучении внутренней стороны анода из него вылетают электроны со

скоростью 100 км/с. На какое расстояние способны эти электроны удалиться от анода, чтобы начать снова приближаться к нему? С какой скоростью придут на анод электроны, вылетевшие из катода под действием того же излучения?

- I.78. Точечный заряд $2 \text{ ГТСЭ} q$ находится на расстоянии 4 см от равномерно заряженной длинной нити. Под действием электрического поля нити этот заряд начинает удаляться от нее, причем на пути в 2 см поле совершает работу 5 мкДж. Определить линейную плотность заряда на нити.
- I.79. Тонкое кольцо, радиуса 10 см, заряжено равномерно с линейной плотностью заряда равной 0,3 мкКл/м. Вычислить работу, совершаемую при переносе точечного заряда в 5 нКл из центра кольца вдоль его оси на расстояние 20 см?
- I.80. Радиусы двух длинных коаксиальных цилиндров $R_1 = 20 \text{ см}$ и $R_2 = 21 \text{ см}$. Цилиндры заряжены одноименным электричеством с поверхностной плотностью заряда $\sigma_1 = 4 \text{ ГТСЭ}$ и $\sigma_2 = 8 \text{ ГТСЭ}$. Найти работу A , совершаемую при переносе заряда $q = 1 \text{ мкКл}$ с одного цилиндра на другой. Какая сила F действовала бы на этот заряд, если бы он находился на расстоянии $h = 2 \text{ см}$ от поверхности наружного цилиндра?
- I.81. На расстоянии R от точечного заряда q расположен свободный диполь с электрическим моментом p . Найти работу A , которую нужно совершить, чтобы удалить этот диполь на бесконечно большое расстояние от заряда q .

Потенциал и разность потенциалов

- I.82. В вершинах равностороннего треугольника со стороной $a = 4 \text{ см}$ находятся одинаковые точечные заряды $q = 20 \text{ ГТСЭ}$. Определить потенциал φ в середине стороны треугольника.

I.83. Точечные заряды $0,4 \text{ мкКл}$ и $-0,6 \text{ мкКл}$ находятся на расстоянии 10 см друг от друга. Найти: а) напряженность электрического поля в точках, где потенциал равен нулю; б) потенциал в точке, где напряженность электрического поля равна нулю. Предполагается, что искомые точки лежат на прямой, проведенной через заряды.

I.84. Два разноименных точечных заряда, отношение зарядов которых равно n , находятся на расстоянии d друг от друга. Доказать, что эквипотенциальная поверхность, на которой потенциал равен нулю, есть сфера. Определить радиус R этой сферы и расстояние a ее центра от меньшего заряда.

I.85. Расстояние между двумя бесконечно длинными параллельными тонкими нитями, заряженными равномерно с линейной плотностью заряда $+\tau$ и $-\tau$, равно d . Доказать, что при достаточно большом значении d :

- эквипотенциальные поверхности суть круговые цилиндры, оси которых параллельны нитям и лежат в одной плоскости с ними;
- линии напряженности электрического поля лежат в плоскости, перпендикулярной нитям и суть окружности, центры которых находятся на прямой, перпендикулярной к отрезку, соединяющему точки пересечения нитей с этой плоскостью, и проходящей через середину этого отрезка.

I.86. На прямой нити длиной ℓ равномерно распределен заряд q . Определить потенциал φ электрического поля в точке, лежащей на продолжении нити на расстоянии a от ближнего ее конца.

I.87. Тонкое проволочное кольцо радиуса $R = 5 \text{ см}$ несет заряд $q = 50 \text{ пКл}$. Определить: а) потенциал электрического поля φ на оси кольца, как функцию расстояния h от его центра, б) напряженность электрического поля E на оси кольца, как градиент потенциала, в) значение потенциала в центре кольца и в точке на оси, отстоящей от плоскости кольца на $h = 10 \text{ см}$.

- I.88. Два одинаковых кольца, изготовленных из тонкой проволоки, имеют общую ось. Радиусы обоих колец R , заряды на них $+q$ и $-q$. Определить разность потенциалов $\Delta\varphi$ центров колец, если расстояние между ними равно a .
- I.89. Определить потенциал φ электрического поля в центре плоского кольца, если внутренний радиус его $R_1 = 0,2$ м, внешний $R_2 = 0,4$ м, а равномерно распределенный заряд на кольце $q = 0,6$ мкКл.
- I.90. Тонкий диск радиуса R заряжен равномерно с поверхностной плотностью заряда σ . Определить потенциал электрического поля φ на оси диска, как функцию расстояния h от его плоскости.
- I.91. Какой максимальный заряд можно сообщить металлическому шару радиуса 15 см, находящемуся в воздухе, если электрический пробой воздуха происходит при напряженности электрического поля 30 кВ/см? Каков будет при этом потенциал шара?
- I.92. Потенциал электрического поля в центре равномерно заряженной сферы равен 100 В, а на расстоянии 30 см от него 50 В. Найти радиус сферы.
- I.93. Металлический шар радиуса 1 см заряжен до потенциала 3 кВ. Сколько электронов пришлось удалить с нейтрального шара, чтобы зарядить его до такого потенциала? Насколько уменьшилась при этом масса шара?
- I.94. Ртутная капля радиуса 1 мм несет заряд 0,07 пКл. При слиянии десяти таких капель образуется одна большая капля. Определить потенциал большой капли, считая ее тоже шарообразной.
- I.95. Вблизи поверхности Земли напряженность электрического поля равна 130 В/м. Определить заряд земного шара и его потенциал.
- I.96. Из двух концентрических сфер, радиусы которых 3 см и 9 см, внутренняя несет заряд 70 нКл. Какой заряд надо дать на внешнюю сферу, чтобы потенциал внутренней относительно бесконечности стал равным нулю?

- I.97. Радиусы двух concentрических металлических сфер равны R и $2R$. Сферы заряжены одноименным электричеством в количествах соответственно 1 мкКл и 2 мкКл. На расстоянии $3R$ от центра сфер потенциал электрического поля равен 30 ГСЭ_φ . Найти R .
- I.98. Найти потенциал φ электрического поля внутри шара радиуса R , заряженного равномерно с объемной плотностью заряда ρ , если относительная диэлектрическая проницаемость материала его $\varepsilon = 1$.
- I.99. Два одинаковых шарика радиуса $R = 1 \text{ мм}$ и массы $m = 0,01 \text{ г}$ находятся на одной вертикали на расстоянии $d = 20 \text{ мм}$ друг от друга. Верхний шарик закреплен неподвижно. Какую разность потенциалов $\Delta\varphi$ надо создать между шариками, чтобы верхний шарик был в состоянии удерживать нижний на весу?
- I.100. Две бесконечно большие параллельные плоскости 1 и 2 (рис. I.5) заряжены с одинаковой плотностью заряда σ . Определить разность потенциалов $\Delta\varphi$ между точками A и B , если расстояние точки A от плоскости 1 равно h_1 , а расстояние точки B от плоскости 2 равно h_2 . Какова будет эта разность потенциалов, если точку A поместить на таком же расстоянии ниже плоскости 1?

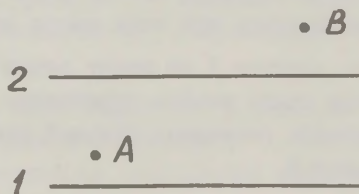


Рис. I.5.

- I.101. Плоский конденсатор заряжен до напряжения 100 В. Найти работу перемещения заряда 0,52 мкКл из точки A в точку B (см. рис. I.6).

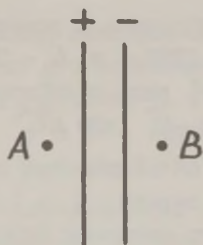


Рис. 1.6.

- I.102. Три большие параллельные пластины расположены на расстоянии 1 мм друг от друга. Определить напряжения U между соседними пластинами, если они заряжены равномерно с поверхностной плотностью заряда $\sigma_1 = +0,2 \text{ ГГСЭ/см}^2$, $\sigma_2 = +0,4 \text{ ГГСЭ/см}^2$ и $\sigma_3 = -0,6 \text{ ГГСЭ/см}^2$.
- I.103. Две одинаковые металлические пластины площадью 200 см^2 каждая расположены в вакууме параллельно на расстоянии 1 см друг от друга. Левая из пластин несет заряд 1 нКл, правая 3 нКл. Найти: а) напряженность электрического поля слева от левой пластины в точке, находящейся вблизи пластины; б) напряженность электрического поля между пластинами; в) разность потенциалов между пластинами; г) скорость, которую будет иметь электрон, случайно освободившийся у одной пластины (без начальной скорости) при подходе к другой пластине.
- I.104. Радиусы двух концентрических металлических сфер 10 см и 20 см. Обе сферы несут одинаковый заряд $+50 \text{ ГГСЭ}$. Определить разность потенциалов между сферами и напряженность электрического поля внутри и вне сфер.
- I.105. Ионизационная камера представляет собой два коаксиальных цилиндра с радиусами $R_1 = 4 \text{ см}$ и $R_2 = 10,9 \text{ см}$. Какова напряженность электрического поля E на внешней поверхности каждого цилиндра, если к камере приложено напряжение $U = 1000 \text{ В}$?
- I.106. Радиусы двух бесконечно длинных коаксиальных цилиндров $R_1 = 10 \text{ мм}$, $R_2 = 10,5 \text{ мм}$. Цилиндры заряжены одно-

именным электричеством с поверхностной плотностью заряда $\sigma_1 = 1 \text{ ГГСЭ/см}^2$ и $\sigma_2 = 2 \text{ ГГСЭ/см}^2$. Найти разность потенциалов $\Delta\varphi$ этих цилиндров и напряженность электрического поля E вне их.

- I.107. Два одинаковых металлических шара, радиуса $R = 0,5 \text{ см}$ несут заряды $q_1 = 1,5 \text{ нКл}$ и $q_2 = -1,5 \text{ нКл}$. Расстояние между центрами шаров $d = 1 \text{ м}$. Определить разность потенциалов $\Delta\varphi$ этих шаров.

Связь между напряженностью электрического поля и его потенциалом

- I.108. Вблизи поверхности Земли напряженность электрического поля равна 130 В/м . Чему равна разность потенциалов между макушкой и ступнями стоящего человека, если его рост $1,75 \text{ м}$?

- I.109. В некоторой области электрического поля его потенциал φ зависит только от координаты x по формуле: $\varphi = -\frac{ax^2}{2} + C$, где a и C суть постоянные величины. Найти напряженность E электрического поля. При каком распределении зарядов такое поле возникает?

- I.110. В некоторой области электрического поля его потенциал φ зависит только от координаты x . Зависимость эта выражается уравнением $x: \varphi = -ax^3 + b$, где a и b суть некоторые константы. Как должен быть распределен в таком случае объемный заряд, т.е. какова зависимость $\rho(x)$, где ρ — объемная плотность заряда?

- I.111. Внутри шара потенциал φ электрического поля зависит только от расстояния z до его центра по формуле $\varphi = az^2 + b$, где a и b суть постоянные величины. Найти распределение объемного заряда, т.е. зависимость $\rho(z)$, где ρ — объемная плотность заряда.

- I.II2. Определить потенциал электрического поля $\varphi(x, y, z)$, если известно, что его напряженность $\vec{E} = ay\vec{z} + (ax + bz)\vec{j} + by\vec{k}$, где a и b суть постоянные величины, а \vec{i} , \vec{j} и \vec{k} — единичные векторы координатных осей x , y и z соответственно.
- I.II3. Найти потенциал электрического поля $\varphi(x, y)$, если известно, что напряженность его $\vec{E} = 2axy\vec{i} + a(x^2 - y^2)\vec{j}$, где a и b суть постоянные величины, а \vec{i} и \vec{j} — единичные векторы координатных осей x и y соответственно.
- I.II4. Найти потенциал электростатического поля $\varphi(x, y)$, если известно, что его напряженность $\vec{E} = a(y\vec{i} + x\vec{j})$, где \vec{i} и \vec{j} суть единичные векторы координатных осей x и y соответственно и a — постоянная величина.
- I.II5. Определить напряженность электрического поля, если зависимость его потенциала от координат выражается в виде а) $\varphi = a(x^2 - y^2)$, б) $\varphi = axy$, где a — постоянная величина. Нарисуйте приближенную картину силовых линий этих полей на плоскости x, y .
- I.II6. Зависимость потенциала электрического поля от координат выражается формулой $\varphi = a(x^2 + y^2) + bz^2$, где a и b суть некоторые постоянные. Определить напряженность этого поля (ее значение и направление). Какую форму имеют эквипотенциальные поверхности при а) $a > 0$ и $b > 0$; б) $a > 0$, но $b < 0$?

Электрическое поле в диэлектриках

- I.II7. Две параллельные тонкие пластины заряжены с поверхностной плотностью заряда $\sigma_1 = +1 \text{ ГЭСЭ}$ и $\sigma_2 = +2 \text{ ГЭСЭ}$. Расстояние между ними $d_0 = 1 \text{ см}$ мало по сравнению с линейными размерами пластин. Между пластинами параллельно им помещена парафиновая ($\varepsilon = 2$)*

* Здесь и в последующих задачах ε означает относительную диэлектрическую проницаемость среды.

пластина толщиной $d = 5$ мм. Какова разность потенциалов пластин U ? Чему равна напряженность электрического поля между пластинами а) вне парафина (\vec{E}_0); б) в парафине (\vec{E})?

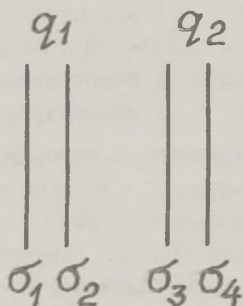
- I.II8. Пространство между двумя большими металлическими пластинами заполнено маслом ($\varepsilon = 5$). Расстояние между пластинами 1 см. Какую разность потенциалов надо создать между пластинами, чтобы плотность поляризационного заряда на поверхности масла достигла значения $0,62$ нКл/см²?
- I.II9. Плоский конденсатор, заполненный пластинкой слюды толщиной $0,2$ мм, заряжен до напряжения 400 В. Найти плотность поляризационного заряда на поверхности слюды.
- I.I20. Металлическому шару, радиус которого 10 см, сообщили заряд 5 мКл. После этого шар покрыли слоем диэлектрика ($\varepsilon = 2$) толщиной 2 см. Определить плотность поляризационного заряда на внутренней и внешней поверхности диэлектрика. Чему равен весь поляризационный заряд одного знака?
- I.I21. Заряд положительных ионов распределен равномерно с объемной плотностью ρ внутри диэлектрического (ε) шара радиуса R . Найти а) зависимость напряженности электрического поля E от расстояния z до центра шара, б) объемную ρ и поверхностную σ плотность связанных зарядов.
- I.I22. Тонкий диск, изготовленный из диэлектрика, радиус которого R , толщина h ($h \ll R$), поляризован однородно так, что вектор поляризации \vec{P} расположен в плоскости диска. Определить напряженность электрического поля E поляризационных зарядов в центре диска.
- I.I23. Внутри шара, изготовленного из диэлектрика ($\varepsilon = 7$) создано однородное электрическое поле, напряженность которого равна 100 В/см. Определить максимальное значение плотности поляризационных зарядов на поверхности диэлектрика.

- I.124. Внутри шара радиуса $R = 3$ см, изготовленного из однородного диэлектрика ($\varepsilon = 5$), создано однородное электрическое поле напряженности $\vec{E} = 100$ В/м. Найти максимальное значение поверхностной плотности σ поляризационных зарядов и суммарный поляризационный заряд q одного знака.
- I.125. Шар, изготовленный из диэлектрика, поляризован однородно, причем вектор поляризации его \vec{P} . Принимая в расчет, что шар, поляризованный таким образом, можно рассматривать как результат небольшого смещения всех положительных зарядов относительно отрицательных, найти напряженность электрического поля \vec{E} а) внутри и б) вне шара.
- I.126. Внутри бесконечно большого диэлектрика (ε), поляризованного однородно, имеется сферическая полость. На большом расстоянии от полости напряженность электрического поля \vec{E}_0 . Определить напряженность электрического поля \vec{E} внутри полости.
- I.127. Шар из однородного диэлектрика (ε) помещен в однородное электрическое поле напряженности \vec{E}_0 . В таком случае диэлектрик поляризуется однородно. Найти напряженность электрического поля \vec{E} и вектор поляризации \vec{P} внутри шара.
- I.128. Длинный цилиндр, изготовленный из однородного диэлектрика (ε), поместили в однородное электрическое поле напряженности \vec{E}_0 так, что ось его перпендикулярна полю. Диэлектрик в таком случае поляризуется однородно. Определить напряженность электрического поля \vec{E} и вектор поляризации \vec{P} в диэлектрике.
- I.129. Стеклянная пластина ($\varepsilon = 7$) помещена в однородное электрическое поле напряженностью $E_0 = 10$ В/см так, что ее нормаль образует с направлением поля угол $\alpha = 30^\circ$. Определить напряженность E электрического поля в стекле и угол β , образуемый вектором \vec{E} с нормалью пластины. Найти также поверхностную плотность поляризационных зарядов $\sigma_{\text{пол}}$ на пластине.

- I.130. Поверхностью раздела между диэлектриком (ϵ) и вакуумом является плоскость. Напряженность электрического поля в вакууме E_0 , а угол преломления линий напряженности поля в диэлектрике β . Считая поле в обеих средах однородным, определить поток вектора напряженности электрического поля через поверхность сферы радиуса R с центром в плоскости раздела сред.

Проводники в электрическом поле

- I.131. В однородное электрическое поле с напряженностью E помещена перпендикулярно к нему металлическая пластина площади S . Определить заряд q , индуцируемый на каждой стороне пластины.
- I.132. Расстояние между двумя параллельными металлическими пластинами A и B относительно мало. Какие заряды q_i возникнут на обеих сторонах пластины B , если пластине A сообщить заряд q ?
- I.133. Расстояние между двумя параллельными металлическими пластинами A и B относительно мало. Какие заряды возникнут на каждой из сторон пластины B , если пластине A сообщить заряд $q_A = +2$ мКл, а пластине B заряд $q_B = +4$ мКл?
- I.134. Две параллельные металлические пластины несут заряды $q_1 = 600$ СтСЭ q и $q_2 = 200$ СтСЭ q (см. рис. I.7).



Площадь одной стороны каждой пластины $S = 200$ см², а расстояние между пластинами $d = 3$ мм. Найти поверхностную плотность заряда σ на каждой из сторон обеих пластин. Каким будет распределение зарядов при $q_2 = -q_1$?

Рис. I.7.

- I.135. К двум параллельным металлическим пластинам A и B приложено напряжение U . Между ними помещают параллельно им две тонкие металлические пластины C и D так, что $AC = CD = DB = \frac{d}{3}$, где $d = AB$ (см. рис. I.8).

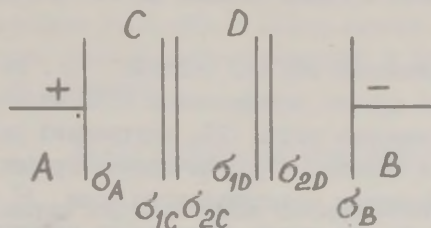


Рис. I.8.

Найти разность потенциалов соседних пластин и напряженность электрического поля E в пространстве между ними, а также распределение зарядов (σ) на пластинах C и D . Как изменится распределение зарядов (σ) на пластинах C и D , если их сначала соединить проводником, а затем этот проводник удалить? Какими будут после этого разности потенциалов U соседних пластин?

- I.136. Четыре большие параллельные металлические пластины расположены на небольшом расстоянии d друг от друга. Крайние пластины соединены между собой проводником, как это показано на рис. I.9. Ко внутренним пластинам приложено напряжение $\Delta\varphi$. Найти: а) напряженность электрического поля E между соседними пластинами, б) суммарный заряд каждой пластины, приходящийся на единицу ее площади σ .

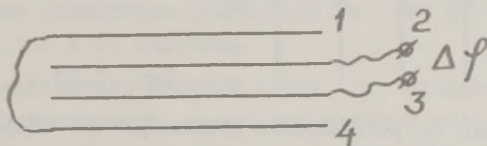


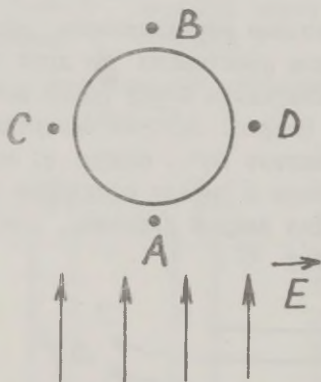
Рис. I.9.

I.I37. Точечный заряд $0,15 \text{ мкКл}$ расположен в центре металлического шарового слоя, внутренний радиус которого 20 см , а внешний 25 см . Найти напряженность электрического поля на расстоянии 10 см и 50 см от центра шарового слоя, а также разность потенциалов этих точек.

I.I38. Металлический шар (1) радиуса R_1 , несущий заряд q , окружен другим незаряженным concentрическим полым металлическим шаром (2), внутренний радиус которого R_2 , а внешний R_3 . Начертить график зависимости напряженности электрического поля E от расстояния z до центра шаров. Определить потенциалы шаров φ_1 и φ_2 относительно бесконечности. Чему будет равен потенциал внутреннего шара φ_1' , если внешний шар заземлить?

I.I39. Металлический шар (1) радиуса 10 см заряжен до потенциала 300 В . Шар окружают concentрической металлической сферой (2), радиус которой равен 15 см , и на короткое время соединяют с внутренним шаром. Каким будет после этого потенциал внутреннего шара?

I.I40.



В однородное электрическое поле напряженности E помещают металлический шар (см. рис. I.I0). Каким будет электрическое поле в точках A , B , C и D , находящихся вблизи поверхности шара?

Рис. I.I0.

I.I41. Заряд q распределен равномерно на сфере радиуса R . Определить дополнительное давление p на поверхность сферы, обусловленное наличием заряда.

- I.I42. Мыльный пузырь находится в равновесии, радиус его R . Если пузырю сообщить заряд Q , возникнет дополнительное давление, стремящееся перевести его в новое состояние равновесия с радиусом $R_1 > R$. Какой заряд q следует поместить в центр пузыря, чтобы он уравнивал дополнительное давление и радиус пузыря остался бы прежним?

Метод зеркальных изображений

- I.I43. Как изменится напряженность электрического поля точечного заряда q на расстоянии z от него, если в непосредственной близости этой точки поместить большую заземленную металлическую пластину перпендикулярную отрезку, соединяющему эту точку с зарядом q ?
- I.I44. Точечный заряд 5 нКл находится на расстоянии 3 см от большой заземленной металлической пластины. Найти: а) поверхностную плотность заряда на пластине в ближайшей к заряду точке, а также в точке, находящейся от заряда на расстоянии 5 см; б) полный заряд, индуцированный в пластине.
- I.I45. Точечный заряд находится на расстоянии h от бесконечно большой проводящей пластины. Определить зависимость поверхностной плотности σ индуцированного в пластине заряда от расстояния z до основания перпендикуляра, опущенного из заряда на плоскость пластины.
- I.I46. Точечный заряд $+q$ находится на расстоянии h от большой заземленной металлической пластины. Определить напряженность электрического поля E в точке, находящейся на одинаковом расстоянии h как от точечного заряда так и от пластины.
- I.I47. Маленький шарик, несущий заряд $+q$, находится на большом расстоянии h от заземленной металлической пластины. Определить напряженность электрического поля E : а) в основании перпендикуляра, опущенного из центра шарика на пластину; б) на расстоянии $2h$ от пластины на этом же перпендикуляре.

- I.I48. Маленький шарик висит на изолирующей упругой нити, жесткость которой K . Под шариком расположена горизонтально бесконечно большая металлическая пластина. Будучи заряжен опустился шарик на расстояние x и оказался от пластины на расстоянии h . Определить заряд q шарика.
- I.I49. Два точечных заряда $+q$ и $-q$, находящиеся на расстоянии h друг от друга, расположены над большой металлической пластиной на расстоянии $\frac{h}{2}$ от ее поверхности. Определить силу F , действующую на каждый из зарядов, а также напряженность электрического поля E в середине отрезка, соединяющего заряды.
- I.I50. Расстояние между точечными зарядами 30 нКл и 50 нКл равно 4,6 см. Между зарядами на равном расстоянии от обоих зарядов помещают большую заземленную металлическую пластину, толщиной 0,6 см, перпендикулярно к отрезку, соединяющему заряды. Определить силу, действующую на пластину.
- I.I51. Точечный заряд q находится на расстоянии h от бесконечно большой металлической пластины. Какую работу A нужно совершить, чтобы медленно удалить этот заряд на большое расстояние от пластины?
- I.I52. Две бесконечно большие металлические пластины пересекаются под прямым углом. Определить силу F , действующую на точечный заряд q , находящийся на биссектрисе этого угла на одинаковом расстоянии h от обеих пластин.
- I.I53. Диполь с электрическим моментом p_e находится на расстоянии h от поверхности бесконечно большой металлической пластины и расположен перпендикулярно к пластине. Определить силу F , действующую на диполь.
- I.I54. Тонкая длинная прямая нить заряжена равномерно с линейной плотностью заряда τ и расположена параллельно бесконечно большой проводящей плоскости на расстоянии h от нее. Найти: а) силу F , действующую на единичный участок длины нити, б) зависимость $\sigma(x)$,

где σ —поверхностная плотность индуцированного на плоскости заряда, а x —расстояние точек плоскости от прямой, являющейся проекцией нити на плоскость.

- I.155. Длинная прямая равномерно заряженная нить (с линейной плотностью заряда τ) расположена перпендикулярно к проводящей плоскости, причем конец нити, обращенный к плоскости, находится от нее на расстоянии h . Определить поверхностную плотность индуцированного на плоскости заряда σ : а) в точке пересечения продолжения нити с плоскостью; б) как функцию расстояния x от этой точки.
- I.156. Кольцо из тонкой проволоки радиуса R несет заряд q и расположено параллельно большой проводящей плоскости на расстоянии h от нее. Определить: а) поверхностную плотность индуцированного на плоскости заряда σ в точке пересечения плоскости с осью кольца; б) напряженность электрического поля E и потенциал φ в центре кольца.
- I.157. Две бесконечно большие металлические пластины A и B расположены параллельно на расстоянии d друг от друга. Между пластинами на расстоянии x от пластины A находится точечный заряд q . Найти заряды, индуцированные на каждой из пластин.
- I.158. В плоском конденсаторе напряженность электрического поля $E = 1$ кВ/м. В силу термоэмиссии с отрицательного электрода (катода) испускаются электроны. Пренебрегая влиянием отрицательного объемного заряда электронов, оценить расстояние x от катода, на котором скорость электронов будет минимальной. Предполагается, что положительный электрод (анод) находится на сравнительно большом расстоянии от катода.
- I.159. Точечный заряд q находится на расстоянии x от центра заземленного металлического шара радиуса R . С какой силой F действует шар на точечный заряд?

- I.I60. Металлический шар радиуса R соединен посредством тонкой проволоки с Землей. На расстоянии $2R$ от центра шара находится точечный заряд $+q$. Определить отрицательный заряд шара q' . Поверхность Земли и все другие тела считать расположенными бесконечно далеко. Влиянием соединительной проволоки пренебречь.
- I.I61. Определить потенциал φ незаряженного металлического шара, если вне его на расстоянии h от его центра находится точечный заряд q .
- I.I62. Поверхностью раздела между вакуумом и однородным и изотропным диэлектриком (ϵ) является плоскость. В вакууме на расстоянии h от этой плоскости находится точечный заряд q . Найти: а) поверхностную плотность поляризационных зарядов $\sigma_{пл}$, как функцию расстояния z от точечного заряда; б) суммарный поляризационный заряд $q_{пл}$ на поверхности диэлектрика.
- I.I63. Исходя из условий и решений предыдущей задачи, найти силу F , с которой действуют на точечный заряд q поляризационные заряды, возникшие на поверхности диэлектрика.
- I.I64. Точечный заряд q находится в однородном изотропном диэлектрике (ϵ) на расстоянии h от бесконечно большой плоскости раздела между этим диэлектриком и вакуумом. Найти поверхностную плотность поляризационных зарядов $\sigma_{пл}$ на поверхности раздела как функцию расстояния z от заряда q .
- I.I65. По одну сторону от бесконечно большой проводящей плоскости вакуум, а все пространство по другую ее сторону заполнено однородным изотропным диэлектриком (ϵ). В этом диэлектрике на расстоянии h от проводящей плоскости находится точечный заряд q . Найти зависимость поверхностной плотности $\sigma_{пл}$ зарядов, возникших на поверхности соприкосновения диэлектрика и проводящей плоскости, от расстояния z до заряда q .

Емкость проводников

- I.166. Найти емкость уединенного проводящего шара радиуса R_1 , если его окружает плотно к нему прилегающий шаровой слой диэлектрика (ε) с внешним радиусом R_2 .
- I.167. Металлический шар радиусом 5 см окружен плотно прилегающим слоем диэлектрика ($\varepsilon = 7$) толщиной 1 см и помещен внутрь концентрической металлической сферы с внутренним радиусом 7 см. Чему равна емкость такого конденсатора?
- I.168. Найти емкость сферического конденсатора, радиусы обкладок которого 1 см и 1,05 см, а наполнителем является масло ($\varepsilon = 4,5$). Чему равен радиус уединенного шара, обладающего такой же емкостью?
- I.169. Сферический воздушный конденсатор, радиусы обкладок которого равны 1 см и 4 см, зарядили до напряжения 3 кВ. Определить емкость этого конденсатора и напряженность электрического поля на расстоянии 3 см от его центра.
- I.170. Отдаленные друг от друга проводники емкостью C_1 и C_2 заряжены до потенциала φ_1 и φ_2 соответственно. Каким будет потенциал φ этих проводников, если соединить их тонкой проволокой?
- I.171. Проводники емкостью $C_1 = 2$ пФ и $C_2 = 3$ пФ находятся на очень большом расстоянии друг от друга и от всех других тел. Чему равна взаимная емкость C' этих тел?
- I.172. Емкость плоского воздушного конденсатора равна 600 пФ. Как изменится емкость этого конденсатора, если ввести в пространство между его обкладками параллельно им металлическую пластину, толщина которой в четыре раза меньше расстояния между обкладками? Будет ли зависеть результат от местоположения этой пластины?
- I.173. Четыре одинаковые металлические пластины площадью S каждая расположены параллельно из одинаковых расстояниях d друг от друга. Найти емкость C между точ-

ками A и B , если пластины соединены так, как это показано а) на рис. I.II,а; б) на рис. I.II,б.

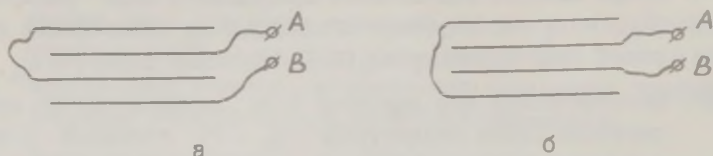


Рис. I.II.

- I.174. Плоский конденсатор с площадью обкладок $S = 200 \text{ см}^2$ и расстоянием между ними $d = 0,5 \text{ см}$ помещен в металлическую коробку, имеющую форму прямоугольного параллелепипеда, так, что обкладки его параллельны двум граням коробки. По площади эти грани мало отличаются от обкладок конденсатора, а расстояние обкладок от них $d_0 = 0,2 \text{ см}$. Изменится ли от этого емкость конденсатора (если да, то как) при условии, что непосредственный контакт между конденсатором и коробкой отсутствует?
- I.175. Расстояние между обкладками плоского конденсатора d , площадь их S . Пространство между обкладками заполнено двумя слоями различных диэлектриков. Толщина слоя первого из них d_1 , относительная проницаемость его ϵ_1 , относительная проницаемость второго ϵ_2 . Определить емкость такого конденсатора.
- I.176. Площадь обкладок плоского конденсатора S , расстояние между ними d . Определить емкость C конденсатора в двух случаях: а) диэлектрик состоит из двух пластин одинаковой толщины и площади S , относительные проницаемости которых ϵ_1 и ϵ_2 ; пластины параллельны обкладкам и заполняют все пространство между ними; б) одна половина пространства между обкладками заполнена одним (ϵ_1), вторая другим (ϵ_2) диэлектриком, а поверхность раздела диэлектриков перпендикулярна обкладкам. Краевым эффектом пренебречь. Показать, что в первом случае емкость конденсатора всегда меньше, чем во втором.

- I.I77. На рис. I.I2 показана стопка дисков одинаковой толщины (0,1 мм) вырезанных из металлического листа (заштрихованные) и парафинированной бумаги (белые). Диаметры дисков 2, 3, 4, 5 и 6 см. Чему равна емкость такой системы?

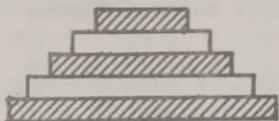


Рис. I.I2.

- I.I78. Определить емкость C системы, состоящей из двух одинаковых металлических шаров радиуса a , находящихся в диэлектрике (ϵ) на расстоянии b друг от друга, причем $b \gg a$.
- I.I79. Определить емкость C системы, состоящей из металлического шара радиуса a и бесконечно большой проводящей плоскости, если шар расположен на расстоянии d от плоскости и $d \gg a$.
- I.I80. Две длинные прямые проволоки радиуса a расположены параллельно в воздухе на расстоянии b друг от друга, причем $b \gg a$. Определить взаимную емкость C этих проволок на единицу длины проволоки.
- I.I81. Длинная прямая проволока расположена параллельно бесконечно большой металлической пластине. Радиус проволоки a , расстояние ее от пластины b , причем $b \gg a$. Найти емкость C такой системы на единицу длины проволоки.
- I.I82. Батарея, состоящая из двух конденсаторов, емкости которых 300 пФ и 500 пФ, соединенных последовательно, заряжена до напряжения 12 кВ. Найти напряжение на обоих конденсаторах и заряды на их обкладках.
- I.I83. Батарея состоит из пяти одинаковых конденсаторов, соединенных последовательно. К одному из конденсаторов подключили параллельно электростатический вольтметр, емкость которого в два раза меньше емкости каждого из конденсаторов. Показание вольтметра оказалось равным 500 В. Чему равно напряжение на клеммах батареи?

1.184. Максимальные дозволённые напряжения для конденсаторов $C_1 = 1$ мкФ и $C_2 = 2$ мкФ равны $U_1 = 6$ кВ и $U_2 = 4$ кВ. Какое максимальное напряжение можно подать на батарею, состоящую из этих двух конденсаторов, соединённых последовательно?

1.185. Определить ёмкость C_{AB} батареи конденсаторов, изображённой на рис. 1.13, между точками A и B , если $C_1 = C_3 = C$, а $C_2 = C_4 = C_5 = 2C$.

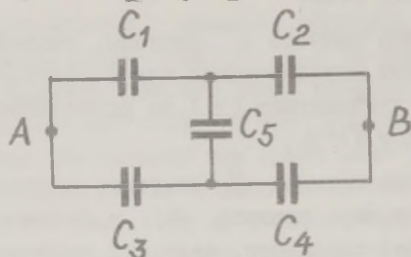


Рис. 1.13.

1.186. Найти ёмкость батареи конденсаторов, изображённой на рис. 1.14, если $C_1 = 2$ мкФ и $C_2 = 1$ мкФ.

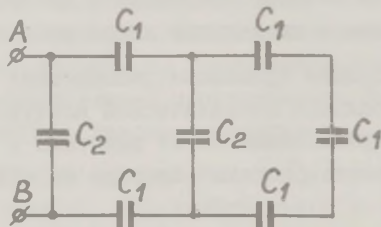


Рис. 1.14.

1.187. Определить ёмкость C_x бесконечно длинной цепи, составленной из повторяющихся звеньев, каждое из которых состоит из двух конденсаторов ёмкости C (см. рис. 1.15).

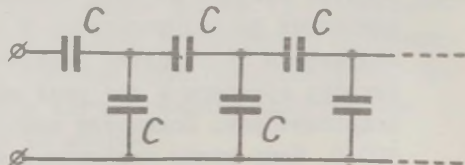


Рис. 1.15.

I.188.

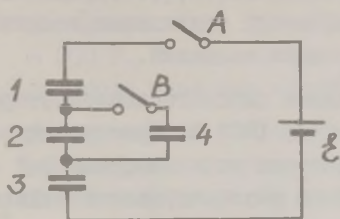


Рис. I.16.

Четыре одинаковых конденсатора соединены так, как это показано на рис. I.16. Вначале замыкают ключ A при разомкнутом ключе B , затем размыкают ключ A и замыкают ключ B . Каким окажется после этого напряжение U на каждом кон-

денсаторе, если электродвижущая сила источника тока равна 9 В?

I.189. С целью определения емкости между электродами триода поступают следующим образом: соединяют накоротко сетку и анод и измеряют емкость C_1 между катодом и соединенными электродами; теперь соединяют накоротко катод и анод и измеряют емкость C_2 между сеткой и соединенными электродами и, наконец, закорчивают сетку и катод и измеряют емкость C_3 между анодом и соединенными электродами. Каким образом можно по полученным величинам C_1 , C_2 и C_3 вычислить емкости C_{af} , C_{ag} , C_{gf} между электродами?

Электрическое поле в конденсаторах

I.190. Емкость плоского воздушного конденсатора 10 пФ. Одной из пластин конденсатора сообщили заряд 2 нКл, на другой пластине заряда нет. Найти разность потенциалов между пластинами.

I.191. Как изменится напряженность электрического поля между обкладками плоского конденсатора, если заряд на одной из его обкладок увеличить в два раза?

I.192. Масса шарика модели математического маятника 1 г, период его колебаний 1 с. После того, как шарик был сообщен заряд -10 нКл и маятник помещен в электрическое поле горизонтального плоского конденсатора, период колебаний оказался равным 0,8 с. Найти направление электрического поля, силу, с которой оно действует на шарик, разность потенциалов между обкладками

конденсатора и поверхностную плотность заряда на них. Известно, что расстояние между обкладками конденсатора на 1 см больше длины нити маятника.

- I.193. Расстояние между обкладками плоского конденсатора 2 мм, напряжение между ними 1800 В. Пространство между обкладками заполняет стеклянная пластина ($\epsilon = 6$). Определить диэлектрическую восприимчивость стекла и поверхностную плотность поляризационных зарядов на нем.
- I.194. Пространство между обкладками плоского конденсатора заполнено диэлектриком ($\epsilon = 6$). Расстояние между обкладками 4 мм, напряжение между ними 1200 В. Определить напряженность поля в диэлектрике, поверхностную плотность заряда на обкладках конденсатора, поверхностную плотность поляризационных зарядов на диэлектрике, а также диэлектрическую восприимчивость вещества.
- I.195. Воздушный конденсатор зарядили и погрузили в керосин ($\epsilon = 2$). Как изменится при этом напряженность электрического поля и диэлектрическое смещение, если в процессе погружения конденсатор а) отключен от источника постоянного напряжения, б) соединен с ним?
- I.196. Плоский воздушный конденсатор, расстояние между обкладками которого $d = 3$ мм, зарядили до напряжения $U = 1000$ В. Позднее конденсатор заполнили диэлектриком ($\epsilon = 7$). Найти: 1) изменение поверхностной плотности заряда $\Delta\sigma$ на обкладках конденсатора, 2) поверхностную плотность $\sigma_{пол}$ поляризационных зарядов.
- Задачу решить для двух случаев: а) заполнение конденсатора происходит при постоянном напряжении, б) во время заполнения конденсатор отключен от источника напряжения.
- I.197. Плоский воздушный конденсатор, расстояние между обкладками которого d , соединен с источником тока, поддерживающим постоянное напряжение U . В конденсатор вводится диэлектрик (ϵ), заполняющий все пространство между обкладками. Как изменится при этом поверхностная плотность заряда σ на обкладках?

- I.198. Конденсатор, пространство между обкладками которого заполняет слюда ($\varepsilon = 6$), зарядили до напряжения $U_1 = 300$ В. Каким окажется напряжение U_2 на конденсаторе после удаления слюды?
- I.199. Два воздушных конденсатора одинаковой емкости соединены параллельно и заряжены до напряжения $U_1 = 210$ В. Найти напряжение U_2 этой батареи после того, как пространство между обкладками одного из конденсаторов будет заполнено слюдой ($\varepsilon = 6$).
- I.200. Напряженность электрического поля между обкладками плоского воздушного ($\varepsilon \approx 1$) конденсатора равна E_0 . Половину пространства между обкладками заполняют диэлектриком (ε) (см. рис. I.17). Найти напряженность электрического поля E и электрическое смещение D

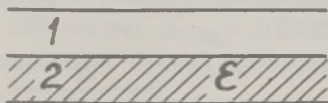


Рис. I.17.

в обеих половинах 1 и 2 этого пространства, если диэлектрик вводится а) при постоянном напряжении между обкладками, б) при неизменных зарядах на обкладках.

- I.201. Расстояние между обкладками горизонтального плоского конденсатора 5 мм, напряжение на нем 150 В. На нижней обкладке лежит плитка парафина ($\varepsilon = 2$) толщиной 4 мм. Определить напряженность электрического поля в парафине и воздухе.
- I.202. На плоский конденсатор, расстояние между обкладками, которого 0,2 см, подано напряжение 200 В. Между обкладками, параллельно им, помещена стеклянная пластина ($\varepsilon = 7$) толщиной 0,1 см. Определить напряженность электрического поля в воздушном промежутке.

- I.203. Решить задачу аналогичную задаче I.200 в предположении, что диэлектрик заполняет пространство между обкладками так, как это показано на рис. I.18.

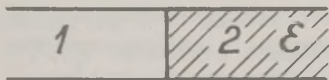


Рис. I.18.

I.204. Половина пространства между обкладками плоского конденсатора заполнена слюдой так, что поверхность раздела между диэлектриком и вакуумом перпендикулярна обкладкам конденсатора. Найти напряженность электрического поля в слюде и в вакууме, если известно расстояние между обкладками 0,4 см, относительная диэлектрическая проницаемость слюды $\epsilon = 6$ и напряжение на конденсаторе 600 В.

I.205. Горизонтальный плоский конденсатор с обкладками в виде прямоугольников наполовину заполнен жидким диэлектриком (рис. I.19,а). Затем конденсатор повернули в вертикальное положение (рис. I.19,б). Какую часть конденсатора K надо погрузить в диэлектрик, чтобы емкость его осталась прежней? Чему равно отношение напряженностей E электрического поля в диэлектрике и воздухе в обоих случаях?

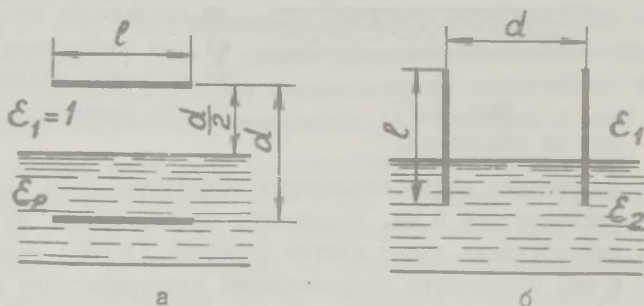


Рис. I.19.

I.206. Радиус центральной жилы коаксиального кабеля 1,5 см, внутренний радиус оболочки 3,5 см, а напряжение между ними 2300 В. Определить напряженность электрического поля на расстоянии 2 см от оси кабеля и емкость участка кабеля длиной в 1 м, если относительная проницаемость диэлектрика $\epsilon = 2$.

I.207. Радиус жилы коаксиального кабеля R_1 , внутренний радиус оболочки R_2 . Определить отношение R_2/R_1 , при котором для заданных значений напряжения U и относительной проницаемости диэлектрика ϵ электрическая прочность кабеля была бы максимальной.

- I.208. Диаметр жилы коаксиального кабеля 1 см, внутренний диаметр свинцовой оболочки 2,6 см, а относительная проницаемость диэлектрика 4. Определить напряжение, при котором начинается электрический разряд между жилой и оболочкой в коаксиальном воздушном зазоре толщиной 0,2 мм. Задачу решить в двух случаях:
 а) воздушный зазор примыкает непосредственно к жиле,
 б) воздушный зазор с одной стороны граничит с внешней оболочкой кабеля. Электрическая прочность воздуха равна 30 кВ/см.
- I.209. В цилиндрическом конденсаторе два слоя диэлектрика: пропитанная лаком бумага ($\epsilon_1 = 4$; $l_1 = 2$ см; $l_2 = 2,3$ см) и стекло ($\epsilon_2 = 7$; $l_2 = 2,3$ см; $l_3 = 2,5$ см). В котором из диэлектриков начнется пробой при непрерывном повышении напряжения на конденсаторе? ($E_{1max} = 120$ кВ/см; $E_{2max} = 100$ кВ/см). При каком значении напряжения пробой произойдет?
- I.210. Заряд проводника можно определить с помощью электрометра, измеряющего разность потенциалов. Для этого надо сначала измерить разность потенциалов U_1 между проводником и Землей, затем соединить с проводником одну обкладку конденсатора известной емкости C_0 , другую его обкладку заземлить и измерить снова разность потенциалов U_2 . Каким образом из таких результатов измерений можно вычислить заряд проводника q ? От чего будет зависеть точность результата?

Энергия электрического поля

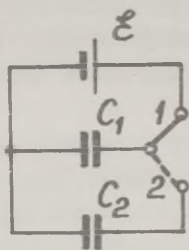
- I.211. Найти потенциальную энергию W взаимодействия трех точечных зарядов $q_1 = 10$ нКл, $q_2 = 20$ нКл и $q_3 = -30$ нКл, расположенных в вершинах правильного треугольника со стороной $a = 10$ см.
- I.212. Четыре одинаковых точечных заряда по 100 СтСЭ₂ каждый расположены в вершинах квадрата со стороной 10 см. Определить энергию такой системы зарядов.

I.2I3. Точечный заряд q находится на расстоянии d от бесконечно большой проводящей плоскости. Найти энергию взаимодействия W этого заряда с зарядом, индуцированным на плоскости.

I.2I4. Расстояние между двумя покоящимися электронами в вакууме $d = 1$ см. Какую скорость v получают электроны под действием силы взаимного отталкивания, разойдясь на бесконечно большое расстояние друг от друга?

I.2I5. Какой оказалась бы скорость электронов v в условиях предыдущей задачи, если бы их было не два, а три и поначалу они находились бы в вершинах правильного треугольника со стороной $d = 1$ см?

I.2I6.



Конденсаторы C_1 и C_2 включены в сеть по схеме, изображенной на рис. I.20. Вначале переключатель находится в положении I и конденсатор C_1 заряжается. Затем переводят переключатель в положение 2. Как изменится при этом энергия W батареи конденсаторов?

Рис. I.20.

I.2I7. С конденсатором емкости $C_1 = 1$ мкФ, предварительно заряженным до напряжения $U = 300$ В, соединили параллельно незаряженный конденсатор $C_2 = 2$ мкФ. На сколько изменится энергия W такой системы? Обосновать результат.

I.2I8. Два проводника, емкости которых $C_1 = 10$ пФ и $C_2 = 20$ пФ, заряжены до потенциалов $\varphi_1 = 6$ кВ и $\varphi_2 = 12$ кВ. Расстояние между проводниками велико по сравнению с их размерами. Сколько выделится тепла (ΔQ), если соединить эти проводники проволокой?

I.2I9. Конденсатор емкостью 150 см зарядили до напряжения $1,2$ кВ и затем отключили от источника напряжения. После этого соединили параллельно с ним другой незаряженный конденсатор, емкость которого 50 см. Сколь-

ко энергии выделится в искре, возникшей при соединении конденсаторов?

- I.220. Заряженный металлический шар A радиуса 2 см на короткое время соединили с удаленным от него незаряженным шаром B , радиус которого 3 см. После этого энергия шара B оказалась равной 0,4 Дж. Найти значение первоначального заряда на шаре A .
- I.221. Найти работу A сил притяжения между обкладками плоского воздушного конденсатора при уменьшении расстояния между ними, если энергия конденсатора равна W . Рассмотреть два случая: а) $q = \text{const}$; б) $U = \text{const}$.
- I.222. Площадь каждой обкладки плоского воздушного конденсатора $S = 625 \text{ см}^2$, расстояние между обкладками $d = 12,5 \text{ мм}$. Конденсатор зарядили до напряжения $U = 5000 \text{ В}$, а затем отключили от источника напряжения. Найти работу A , совершаемую при удалении обкладок друг от друга на расстояние $d_2 = 25 \text{ мм}$.
- I.223. Обкладки плоского воздушного конденсатора площадью S каждая несут заряды $+q$ и $-q$. Найти работу A , производимую при уменьшении расстояния между обкладками от d_0 до d . За счет какой энергии можно это сделать?
- I.224. Площадь каждой обкладки плоского конденсатора $S = 300 \text{ см}^2$, расстояние между ними $d = 3 \text{ мм}$. Между обкладками параллельно им расположена такая же по площади металлическая пластина толщиной $d_0 = 1 \text{ мм}$; остальное пространство заполнено воздухом. Конденсатор зарядили до напряжения $U = 600 \text{ В}$, а затем отключили от источника напряжения. Вычислить работу A , необходимую для удаления металлической пластины.
- I.225. Площадь каждой обкладки плоского конденсатора 200 см^2 , расстояние между ними 0,1 см. Пространство между обкладками заполняет стеклянная пластина ($\epsilon = 5$), плотно прилегающая к обеим обкладкам. Как изменится энергия конденсатора W при удалении этой пластины?

Решить задачу при двух условиях: а) конденсатор остается подключенным к источнику напряжения 300 В; б) конденсатор был вначале подключен к этому источнику, а затем его отключили и только после этого удалили пластину. Вычислить механическую работу A удаления пластины в том и другом случае.

I.226. Пространство между обкладками плоского конденсатора объемом $V = 20 \text{ см}^3$ заполнено диэлектриком ($\epsilon = 5$). Конденсатор подключен к источнику постоянного тока. Поверхностная плотность поляризационных зарядов $\sigma_{\text{пол}} = 8,35 \text{ мкКл/м}^2$. Какую работу A надо совершить, чтобы удалить диэлектрик из конденсатора? Задачу решить для двух случаев: а) во время удаления диэлектрика конденсатор остается подключенным к источнику тока; б) диэлектрик удаляется после отключения конденсатора от источника тока.

I.227. Вертикально расположенный плоский воздушный конденсатор с площадью обкладок S и расстоянием d между ними зарядили до разности потенциалов U и отключили от источника напряжения. Снизу под конденсатор подводят сосуд, содержащий жидкий диэлектрик (ϵ), и поднимают его до тех пор, пока жидкость не заполнит половину пространства между обкладками конденсатора. Чему равна емкость конденсатора C в этом положении? Чему равна напряженность электрического поля E в обеих половинах пространства между обкладками? Как распределится заряд на обкладках конденсатора (σ)? Вычислить изменение энергии конденсатора ΔW при заполнении его диэлектриком и объяснить, на что энергия расходуется. Поверхность диэлектрика в конденсаторе считать горизонтальной.

I.228. Обкладки плоского вакуумного конденсатора площадью S соединены с клеммами источника постоянного напряжения U . Для раздвигания обкладок приходится совершать работу. Как изменяется при увеличении расстояния x потребляемая мощность N в предположении, что движение равномерно? На что расходуется энергия,

запасенная первоначально в конденсаторе?

- I.229. Найти силу взаимного притяжения F между обкладками заряженного плоского конденсатора, если известна площадь обкладок S , расстояние d между ними, относительная проницаемость диэлектрика ε , заполняющего конденсатор, и заряд конденсатора q .
- I.230. Конденсатор состоит из двух металлических пластин и стеклянной пластины ($\varepsilon = 8$) между ними. Какое давление оказывают на стекло обкладки конденсатора непосредственно перед электрическим пробоем стекла, если электрическая прочность стекла равна 30 кВ/мм ?
- I.231. Сила притяжения между обкладками заряженного воздушного плоского конденсатора с площадью обкладок 200 см^2 равна $0,05 \text{ Н}$. Чему равна объемная плотность энергии в конденсаторе?
- I.232. Обкладки плоского конденсатора площадью 100 см^2 каждая притягиваются с силой 2940 дин . Пространство между обкладками заполнено слюдой ($\varepsilon = 6$). Определить заряд на пластинах конденсатора, а также напряженность электрического поля и объемную плотность энергии в слюде.
- I.233. Заряд плоского воздушного конденсатора $q = 10 \text{ нКл}$, площадь его обкладок $S = 100 \text{ см}^2$. Чему равна сила притяжения F между обкладками?
- I.234. Сила притяжения между обкладками плоского воздушного конденсатора $F = 200 \text{ дин}$. Площадь обкладок $S = 100 \text{ см}^2$, а расстояние между ними $d = 5 \text{ мм}$. Найти напряжение U на конденсаторе.
- I.235. Пластина из диэлектрика (ε) толщиной d_2 расположена между обкладками плоского конденсатора площадью S параллельно им так, что по обе стороны ее остается воздушный промежуток. Суммарная толщина этих воздушных промежутков равна d_1 . Найти силу F , с которой одна обкладка конденсатора действует на другую.

I.236. Составной частью абсолютного электрометра является плоский воздушный конденсатор, нижняя обкладка которого закреплена, а верхняя подвешена к плечу коромысла весов вместо одной чаши. При незаряженном конденсаторе расстояние между его обкладками $d_1 = 1$ см. Чему равно напряжение U на конденсаторе, если для сохранения этого расстояния между обкладками на другую чашу весов пришлось положить груз массой $m = 5,1$ г? Площадь обкладок конденсатора $S = 50$ см².

I.237. Заряд на каждой из обкладок сферического конденсатора, радиусы которых 5 см и 10 см, равен 2 мкКл. Определить энергию конденсатора и силы, действующие на его обкладки.

I.238.



Рис. I.2I.

Обкладки конденсатора переменной емкости, показанного на рис. I.2I, имеют форму полукруга радиуса R ; расстояние между подвижными и неподвижными обкладками h , число промежутков n . Чему равен вращающий момент M действующий на обкладки заряженного

конденсатора, если они находятся в диэлектрике (ϵ) и заряд конденсатора равен q ?

I.239. Считая протон и электрон в атоме водорода точечными зарядами, находящимися на расстоянии 50 пм друг от друга, определить плотность энергии электрического поля в точке лежащей в середине соединяющего их отрезка.

I.240. Металлический шар диаметром 6 см, находящийся в керосине, несет заряд равный 20 нКл. Определить объемную плотность энергии электрического поля в точках, лежащих на расстоянии 2 см и 4 см от центра шара.

I.24I. Прямой цилиндрический проводник диаметром 2 см окружает концентрический металлический цилиндр, внутрен-

ний диаметр которого равен 4 см. Пространство между цилиндрами заполнено диэлектриком ($\varepsilon = 6$). Потенциал внутреннего цилиндра относительно Земли равен 600 В. Внешний цилиндр заземлен. Определить линейную и поверхностную плотность заряда на обоих цилиндрах и энергию электрического поля, если длина обоих цилиндров равна 1 м.

- I.242. Заряд q распределен равномерно в шаре радиуса R . Полагая относительную диэлектрическую проницаемость материала шара $\varepsilon = 1$, найти: а) энергию электрического поля шара, б) отношение энергий, содержащихся в шаре и в окружающем его пространстве.
- I.243. Шаровой слой из диэлектрика ($\varepsilon = 3$) имеет внутренний радиус $a = 250$ мм, внешний $b = 500$ мм. В центре его находится точечный заряд $q = 3$ мкКл. Найти энергию электрического поля W , запасенную в шаровом слое.
- I.244. Исходя из модели Бора водородного атома, вычислить полную энергию электрона, приняв за радиус орбиты $r = 53$ пм.
- I.245. Заряженная капелька масла, масса которой 50 мкг, находится между обкладками горизонтального плоского конденсатора. В незаряженном конденсаторе в силу сопротивления воздуха капелька падает с постоянной скоростью. Если зарядить конденсатор до напряжения 600 В, скорость капельки уменьшается в два раза. Определить заряд капли, зная, что расстояние между обкладками конденсатора равно 1 см.
- I.246. Сферический вакуумный конденсатор с радиусами обкладок 1 см и 4 см, заряжен до напряжения 3 кВ. Какую скорость получит электрон, переместившись под действием электрического поля из точки 1 в точку 2, если расстояния этих точек от центра сферы равны 3 см и 2 см.
- I.247. На цилиндрический вакуумный конденсатор с радиусами обкладок 1,5 см и 3,5 см подано напряжение 2,3 кВ. Какую скорость получит электрон в электрическом поле

конденсатора, переместившись из точки 1 в точку 2, расстояния которых от оси цилиндра равны 2,5 см и 2 см ?

- I.248. В простейшей двухэлектродной лампе катодом служит нить, натянутая вдоль оси цилиндрического анода. Радиус нити $r_1 = 0,05$ мм, радиус анода $r_2 = 5$ мм. Разность потенциалов между анодом и катодом $U = 91$ В. Скорости электронов, испускаемых катодом, очень малы. Найти ускорение электронов a и скорость v их на расстоянии $r = 3,5$ мм от оси катода, а также максимальную энергию W_{\max} электронов.

2. ЗАКОНЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Сила и плотность тока

- 2.1. Какое количество электричества пройдет через проводник при равномерном возрастании силы тока от нуля до 3 А в течение 10 с ?
- 2.2. Какое количество электричества пройдет через проводник при равномерном уменьшении тока от 10 до 5 А в течение 10 с ?
- 2.3. Ток в проводнике убывает от 18 А до нуля так, что в течение каждых 0,01 с он уменьшается в два раза. Какой заряд переносится при этом через поперечное сечение проводника?
- 2.4. Сечение однородного потока протонов, прошедших ускоряющую разность потенциалов $U = 600$ кВ, представляет собой круг радиуса $r = 5$ мм. Найти напряженность электрического поля E на поверхности потока и его оси, а также разность потенциалов $\Delta\varphi$ между поверхностью потока и его осью, если сила тока $I = 50$ мА.
- 2.5. Из плоского конденсатора, обкладки которого суть квадраты со стороной $a = 10$ см и расстоянием между ними $d = 1$ мм, расположенные так, что одни их стороны вертикальны, вытекает с постоянной скоростью $v = 2,26$ см/с наполнявший его керосин ($\varepsilon = 2$). Конденсатор подключен к источнику постоянного тока с электродвижущей силой $\mathcal{E} = 100$ В и ничтожно малым внутренним сопротивлением. Найти силу тока I в соединительных проводах.
- 2.6. Вертикально расположенный цилиндрический воздушный конденсатор опускают равномерно со скоростью $v = 5$ м/с в дистиллированную воду. Расстояние между обкладками конденсатора $d = 2$ мм, а средний радиус кривизны их

$z = 50$ мм. Конденсатор подключен к источнику постоянного тока $\mathcal{U} = 200$ В. Учитывая, что $d \ll z$, определить силу тока \mathcal{I} в соединительных проводах.

- 2.7. Между обкладками плоского конденсатора от одной обкладки к другой движется с постоянной скоростью v параллельная им тонкая металлическая пластина, несущая заряд q . Расстояние между обкладками d , заряды на них q_1 и q_2 , причем $q_1 + q_2 = -q$. Обкладки соединены между собой накоротко. Определить силу тока \mathcal{I} в соединительном проводе.
- 2.8. Длинный равномерно заряженный цилиндр радиуса $R = 1$ см движется равномерно со скоростью $v = 10$ м/с в направлении своей оси. Напряженность электрического поля на поверхности цилиндра $E = 0,9$ кВ/см. Вычислить силу \mathcal{I} конвекционного, т.е. обусловленного механическим переносом заряда, тока.
- 2.9. На рис. 2.1 изображен схематически генератор ван де Граафа. Оценить, какой максимальный ток \mathcal{I}_m может давать этот генератор и до какого максимального потенциала φ_m можно зарядить его сферу, радиус которой $R = 1,5$ м. Ширина диэлектрической ленты $d = 100$ см, скорость ее движения $v = 20$ м/с. Генератор находится в воздухе, электрическая прочность которого $E_m = 30$ кВ/см.

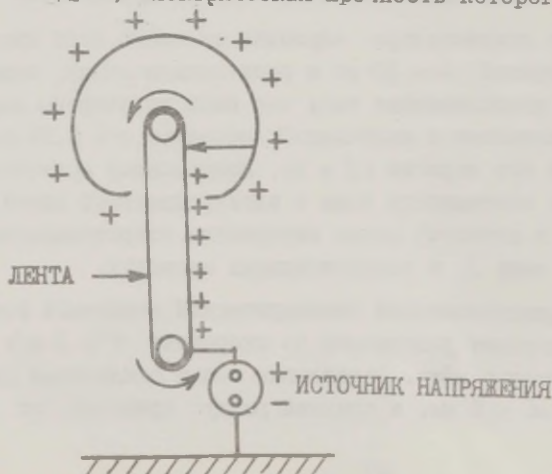


Рис. 2.1.

- 2.10. В электронной лампе ток идет от металлического цилиндра к нити, расположенной на его оси. Определить плотность тока в непосредственной близости от поверхности цилиндра и нити, если сила тока равна 3 мА, длина нити и цилиндра 2,5 см, диаметр нити 0,02 мм, а диаметр цилиндра 1 см.
- 2.11. Определить заряд q , переносимый через поперечное сечение проводника сопротивлением $R = 3$ Ом, если напряжение на концах этого проводника в течение $\tau = 20$ с растет равномерно от значения $U_1 = 2$ В до $U_2 = 4$ В.
- 2.12. Какой заряд q переносится через резистор в течение $\tau = 10$ с, если за это время сила тока уменьшается от значения $I_1 = 10$ А до $I_2 = 5$ А? Напряжение на резисторе поддерживается постоянным. Изменение силы тока достигается равномерным увеличением его сопротивления.
- 2.13. Конденсатор емкостью $C = 400$ пФ заряжают через сопротивление $R = 650$ Ом от источника постоянного напряжения U_0 . Через сколько времени t напряжение на конденсаторе будет $U = 0,9 U_0$?
- 2.14. Конденсатор, относительная проницаемость диэлектрика которого $\epsilon = 2,1$, теряет в течение $\tau = 3$ мин половину сообщенного ему заряда. Предположив, что потеря заряда обусловлена только проводимостью диэлектрика, вычислить его удельное сопротивление ρ .
- 2.15. Замкнутая цепь состоит из источника постоянного напряжения э.д.с. которого \mathcal{E} , и последовательно включенных резистора сопротивлением R и конденсатора емкостью C . Внутреннее сопротивление источника пренебрежимо мало. В момент времени $t = 0$ емкость конденсатора уменьшили скачком в η раз. Определить силу тока I , возникшего в цепи, как функцию времени.
- 2.16. Конденсатор емкостью C_1 , заряженный до напряжения U_0 , соединяют параллельно с незаряженным конденсатором, емкость которого C_2 , с помощью проводника сопротивлением R . Определить временную зависимость силы тока i , возникшего в цепи. Какое количество теплоты Q выде-

лится в проводнике при прохождении тока?

Сопротивление проводников

2.17. Моток медной проволоки диаметром 2 мм весит 28 кгс. Определить сопротивление этой проволоки.

2.18. Сопротивление проволоки $R_0 = 36 \text{ Ом}$. Проволоку разрезали на равные куски, соединили их параллельно и получили систему сопротивлением $R = 1 \text{ Ом}$. На сколько кусков (n) разрезали проволоку?

2.19.

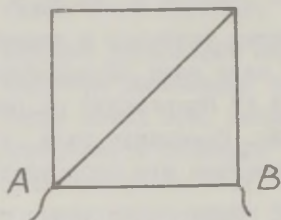


Рис. 2.2.

Вычислить сопротивление проволочной рамки, изображенной на рис. 2.2, между точками A и B , если сопротивление проволоки длиной 1 м равно 10 Ом, а сторона квадрата 10 см.

2.20. Вычислить сопротивление R_{AB} системы проводников, изображенной на рис. 2.3, если каждый прямой проводник имеет сопротивление ξ .

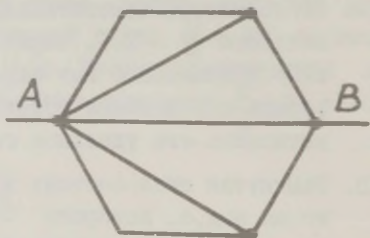


Рис. 2.3.

2.21.

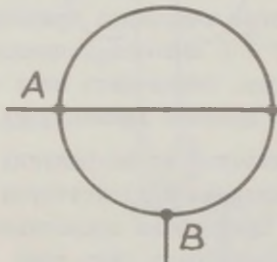


Рис. 2.4.

Вычислить сопротивление проволочной рамки, изображенной на рис. 2.4, между точками A и B , если кусочек проволоки длиной 10 см имеет сопротивление 1 Ом, а радиус окружности 10 см.

2.22. Из однородной проволоки, длина которой равна 50 см, а сопротивление 10 Ом, изготовлено кольцо. Как следует подключить к этому кольцу источник тока, чтобы его сопротивление оказалось равным 1 Ом? Вычислить длины x и сопротивления R соответствующих частей кольца.

2.23. Найти сопротивление R_{AB} проволочной рамки, изображенной на рис. 2.5, если сопротивление любого ее участка между соседними узлами $z = 1$ Ом.



Рис. 2.5.

2.24. Найти сопротивление R_{AB} проволочной рамки, изображенной на рис. 2.6, если сопротивление любого ее участка между соседними узлами $z = 1$ Ом.

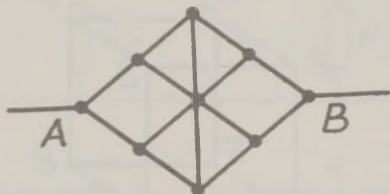


Рис. 2.6.

2.25. Найти сопротивление проволочной рамки, изображенной на рис. 2.7, между точками A и B, если сопротивление любого участка между соседними узлами $z = 1$ Ом.



Рис. 2.7.

2.26. Проволочный каркас (рис. 2.8) состоит из двух одинаковых горизонтальных квадратов, соединенных двумя вертикальными проволоками, длины которых равны длине

стороны квадрата. Определить сопротивление каркаса между точками 2 - 8, 2 - 7 и 4 - 6, если сопротивление одной стороны квадрата равно 1 Ом .

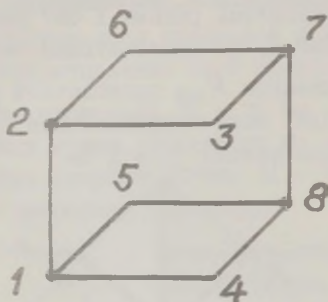


Рис. 2.8.

- 2.27. Проволочный каркас имеет форму куба (рис. 2.9), сопротивление одного ребра которого R . Найти сопротивление этого каркаса между точками 1 - 7, 1 - 2 и 1 - 3.

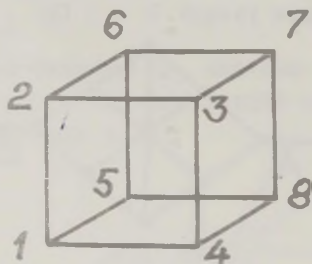


Рис. 2.9.

- 2.28. Чему должно быть равно сопротивление Z , чтобы входное сопротивление схемы, изображенной на рис. 2.10, оказалось равным R_0 ?

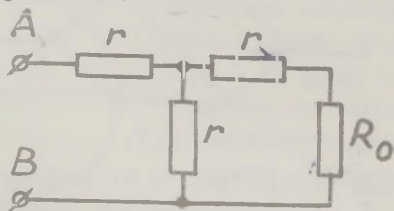


Рис. 2.10.

- 2.29. В цепи, изображенной на рис. 2.II, $R_1 = 3 \text{ Ом}$, $R_2 = 9 \text{ Ом}$, $R_3 = R_4 = R_6 = 6 \text{ Ом}$, $R_5 = 4 \text{ Ом}$. Определить сопротивление R этой цепи.

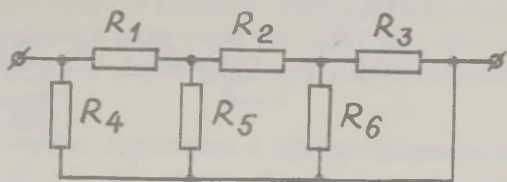


Рис. 2.II.

- 2.30. На рис. 2.I2 изображена бесконечная цепь, составленная из повторяющихся звеньев каждое из которых состоит из двух проводников сопротивлением $R_1 = 4 \text{ Ом}$ и $R_2 = 3 \text{ Ом}$. Найти сопротивление этой цепи между точками A и B .

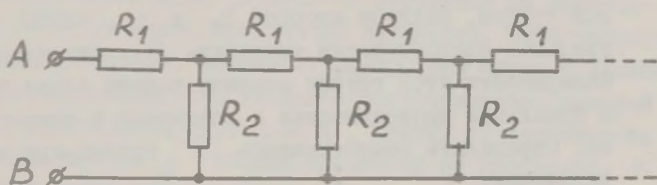


Рис. 2.I2.

- 2.31. Найти сопротивление R_{AB} бесконечной цепи, изображенной на рис. 2.I3.

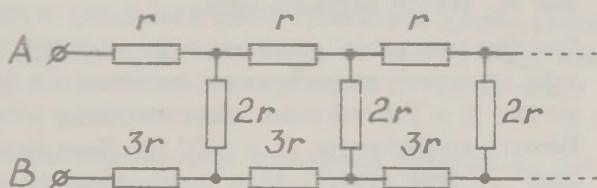


Рис. 2.I3.

- 2.32. Участок цепи AB состоит из двух резисторов, из которых один имеет постоянное сопротивление $R_1 = 50 \text{ Ом}$, а сопротивление другого R_2 можно регулировать от нуля до 100 Ом . Покажите графически, как будет изменяться

сопротивление участка цепи AB в зависимости от значения R_2 при последовательном (рис. 2.14, а) и параллельном (рис. 2.14, б) соединении резисторов.

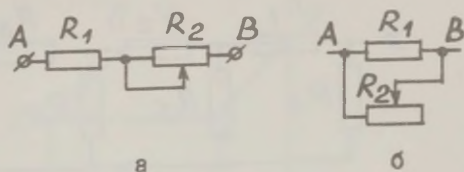


Рис. 2.14.

- 2.33. Внешний диаметр железного провода, покрытого алюминия, равен 6 мм, диаметр железного сердечника его 5 мм. Определить сопротивление такого провода, если длина его 1 км.
- 2.34. Относительно плохой проводник имеет форму цилиндрической трубки, радиусы которой r_1 и r_2 , длина l , а удельное сопротивление материала ρ . Цилиндрические поверхности этой трубки покрыты тонким слоем вещества с идеальной проводимостью и соединены с источником тока. Определить сопротивление R трубки при таком ее включении.
- 2.35. Пространство между обкладками сферического конденсатора, радиусы которых r_1 и r_2 , заполнено веществом с удельным сопротивлением ρ . Определить сопротивление R такого шарового слоя.
- 2.36. Пространство между обкладками сферического конденсатора заполняет диэлектрик с относительной проницаемостью $\epsilon = 7$ и удельным сопротивлением $\rho = 100 \text{ ГОм} \cdot \text{м}$. Емкость конденсатора $C = 3000 \text{ пФ}$. Чему будет равна сила I тока утечки, если на конденсатор подать напряжение $U = 2 \text{ кВ}$?
- 2.37. В бесконечно большом пространстве, заполненном средой с удельным сопротивлением $\rho = 1 \text{ ГОм} \cdot \text{м}$, находится металлический шар диаметром $D = 0,1 \text{ м}$. Какое сопротивление будет оказывать эта среда току, идущему от поверхности шара в бесконечность?

- 2.38. Шар радиуса r , заряженный до некоторого потенциала, соединили с Землей проводником, сопротивление которого $R = 100 \text{ СГС}_R$. В процессе нейтрализации заряда уменьшают радиус шара так, что потенциал его остается постоянным. С какой скоростью должен изменяться радиус шара?
- 2.39. Радиусы медного полукольца с прямоугольным сечением, площадью $S = 5 \text{ см}^2$, равны $r_1 = 10 \text{ см}$ и $r_2 = 20 \text{ см}$. К концам полукольца приложено напряжение $U = 5 \text{ мВ}$. Определить сопротивление R полукольца, силу тока I в нем и плотность тока j в точках, лежащих от оси кольца на расстоянии $r = 15 \text{ см}$. Эквипотенциальными поверхностями считать плоскости, содержащие ось кольца.
- 2.40. Металлический шарик радиуса a находится на расстоянии h от идеально проводящей плоскости. Пространство, окружающее шарик, заполняет однородная среда с плохой электропроводностью, удельное сопротивление которой ρ . Предполагая, что $a \ll h$, найти: а) зависимость плотности тока j вблизи плоскости от расстояния z данной точки плоскости до шарика, если напряжение между шариком и плоскостью равно U ; б) сопротивление среды R между шариком и плоскостью.
- 2.41. Два одинаковых металлических шарика радиуса a расположены в однородной слабо проводящей среде, удельное сопротивление которой ρ , на расстоянии b друг от друга. Определить сопротивление R среды между шариками, в предположении, что $b \gg a$.
- 2.42. Два длинных параллельных проводника радиуса a расположены в среде плохо проводящей электричество, удельное сопротивление которой ρ , на расстоянии d друг от друга. Найти: а) плотность тока j в точках, лежащих на расстоянии z от обоих проводников, если к проводниками приложено напряжение U ; б) сопротивление R среды между проводниками на единицу их длины.

- 2.43. Пространство между обкладками плоского конденсатора заполняет стекло с удельным сопротивлением $\rho = 100 \text{ ГОм}\cdot\text{м}$ и относительной диэлектрической проницаемостью $\varepsilon = 6$. Емкость конденсатора $C = 4 \text{ нФ}$. Определить силу тока утечки I , если к конденсатору приложено напряжение $U = 2 \text{ кВ}$.
- 2.44. Пространство между обкладками плоского конденсатора заполняет неоднородное вещество, плохо проводящее электричество. Удельная проводимость этого вещества изменяется в направлении, перпендикулярном обкладкам, линейно от значения $\sigma_1 = 1 \text{ пСм/м}$ до $\sigma_2 = 2 \text{ пСм/м}$. Площадь каждой из обкладок конденсатора $S = 230 \text{ см}^2$, расстояние между ними $d = 2 \text{ мм}$. Найти силу тока I , проходящего через конденсатор, если к нему приложено напряжение $U = 300 \text{ В}$.
- 2.45. Длинный цилиндрический провод с площадью сечения S изготовлен из материала, удельное сопротивление которого зависит только от расстояния z до оси цилиндра согласно формуле $\rho = a/z^2$, где a — постоянная величина. Найти: а) погонное сопротивление провода R ; б) напряженность электрического поля E в проводе, обуславливающего ток силой I .
- 2.46. Доказать, что закон преломления линий тока на границе раздела двух проводящих сред выражается формулой $\text{tg}\alpha_2/\text{tg}\alpha_1 = \sigma_2/\sigma_1$, где σ_2 и σ_1 суть удельные проводимости сред, а α_2 и α_1 — углы между нормалью к поверхности раздела сред и линиями тока в соответствующей среде.
- 2.47. К железной проволоке длиной 5 м приложено напряжение 4,2 В. Определить плотность тока в проволоке при температуре 120°C .
- 2.48. Чему равна температура вольфрамовой нити накала усиленной лампы, если в холодном состоянии ($\sim 10^\circ\text{C}$) сопротивление ее равно 0,53 Ом, а в раскаленном состоянии 6,22 Ом?

- 2.49. Алюминиевая проволока сопротивлением 3 Ом при 0°C и железная проволока сопротивлением 2 Ом при той же температуре соединены последовательно. Как зависит от температуры (чему равен температурный коэффициент сопротивления α) сопротивление такой цепи?
- 2.50. Угольная палочка соединена последовательно с железной палочкой такого же сечения. Каким должно быть отношение длин ℓ этих палочек, чтобы сопротивление всей системы не зависело от температуры?

Закон Ома

- 2.51. Как следует спроектировать освещение длинного коридора одной лампой так, чтобы можно было включать и выключать ее в любом конце коридора при входе или выходе из него?
- 2.52. Цепь состоит из трех проводников, соединенных последовательно. Все проводники изготовлены из одного и того же материала и имеют одинаковую длину, сечения же их равны 1 мм^2 , 2 мм^2 и 3 мм^2 . Чему будет равно напряжение на каждом из проводников, если на всю цепь подать напряжение 12 В?
- 2.53. Потребитель сопротивлением 17,5 Ом находится на расстоянии 50 м от генератора, напряжение на клеммах которого равно 110 В. На клеммах потребителя напряжение 100 В. Какого сечения должны быть медные провода, соединяющие генератор с потребителем?
- 2.54. Изобразить графически зависимость силы тока I от сопротивления Z в схеме, показанной на рис. 2.15. Определить крутизну этого графика в точке $Z = 0$. Внутренним сопротивлением источника тока пренебречь.

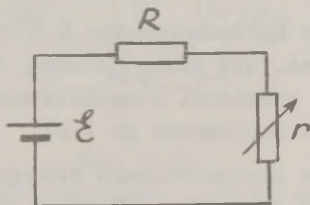


Рис. 2.15.

- 2.55. Батарея гальванических элементов с электродвижущей силой \mathcal{E} и внутренним сопротивлением r соединена с сопротивлением R (рис. 2.16). Изобразите графически зависимость напряжения U , возникающего на внешнем сопротивлении от его значения R . Определите крутизну кривой при $R = 0$.

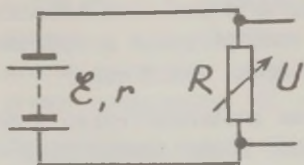


Рис. 2.16.

- 2.56. Для измерения переменного сопротивления R собрана цепь, показанная на рис. 2.17. Электродвижущая сила источника тока равна \mathcal{E} , его внутреннее сопротивление r , сопротивление амперметра R_A . Оцените точность измерения сопротивления R и найдите связь между абсолютными погрешностями измерения тока Δi и сопротивления ΔR , если деления шкалы амперметра пропорциональны силе тока i .

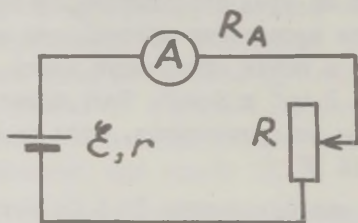


Рис. 2.17.

- 2.57. Имеется стрелочный гальванометр, внутреннее сопротивление которого 150 Ом, а шкала содержит 100 делений ценой 1 мкА каждое. Найти сопротивление шунта, подключение которого параллельно прибору позволит измерять токи силой до 1 мА.
- 2.58. Внутреннее сопротивление миллиамперметра 9,9 Ом, диапазон измерения его 10 мА. Что нужно сделать, чтобы с помощью этого прибора оказалось возможным измерять:
а) токи силой до 1 А; б) напряжение до 1 В?
- 2.59. Внутреннее сопротивление измерительного прибора равно 100 Ом, число делений шкалы его 100, цена деления

10 мкА. Что нужно сделать, чтобы с помощью этого прибора можно было измерять в одном случае напряжение до 100 В, в другом токи силой до 1 А?

2.60. К гальваническому элементу ($\mathcal{E} = 1,5$ В; $r = 0,2$ Ом) подключили амперметр и он показал ток в 5 А. Каково будет показание этого же амперметра, если параллельно с ним подключить шунт сопротивлением 0,1 Ом?

2.61. Имеется вольтметр с внутренним сопротивлением 100 Ом/В и диапазоном измерения 100 В. Какое максимальное напряжение можно будет измерять с помощью этого вольтметра, если последовательно с ним подключить добавочное сопротивление 90 кОм?

2.62. Вольтметр имеет четыре диапазона измерения: 3, 15, 75 и 150 В (см. рис. 2.18). Предельный ток через прибор $I_{max} = 10$ мА. Определить значения дополнительных сопротивлений r_1 , r_2 , r_3 и r_4 , если сопротивление самого прибора $r_v = 10$ Ом.

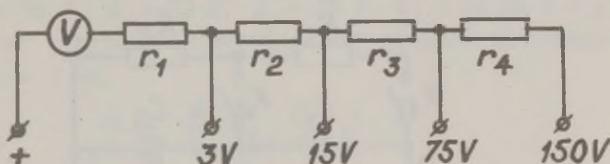


Рис. 2.17.

2.63. Для калибровки гальванометра пользуются схемой, изображенной на рис. 2.19. Определить цену деления шкалы гальванометра, если известно, что при $R_1 = 590$ Ом, $R_2 = 2890$ Ом, $R = 110$ Ом и $R_g = 280$ Ом стрелка гальванометра отклоняется на $N = 30$ делений. Электродвижущая сила источника тока $\mathcal{E} = 2,6$ В, внутреннее сопротивление его пренебрежимо мало.

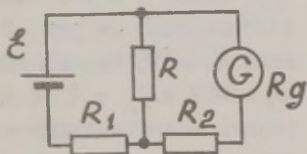


Рис. 2.19.

2.64. Чтобы измерить сопротивление гальванометра R_g пользуются методом шунтирования. Для этого присоединяют

гальванометр к источнику тока последовательно с магазином сопротивлений (рис. 2.20). В магазине набирают

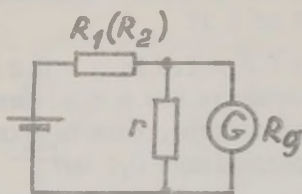


Рис. 2.20.

сопротивление R_1 и регистрируют показание гальванометра. Затем подключают шунт \mathcal{Z} и, изменяя сопротивление магазина, добиваются такого его значения R_2 , при котором показание прибора становится прежним. Вычислить со-

противление гальванометра при следующих числовых значениях величин: $R_1 = 400 \text{ Ом}$, $\mathcal{Z} = 12 \text{ Ом}$ и $R_2 = 150 \text{ Ом}$.

- 2.65. Определить разность потенциалов \mathcal{U} обкладок конденсаторов C_1 и C_2 (см. рис. 2.21) в следующих случаях: а) ключи K_1 и K_2 замкнуты; б) ключ K_1 замкнут, ключ K_2 разомкнут; в) ключ K_1 разомкнут, ключ K_2 замкнут. $C_1 = 2 C_2$, $R_1 = 3 R_2$, $\mathcal{E} = 60 \text{ В}$. Внутреннее сопротивление источника тока пренебрежимо мало.

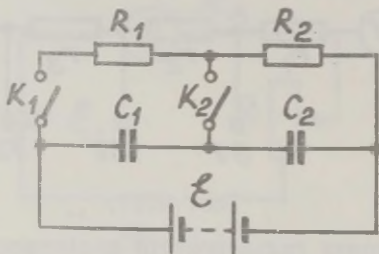


Рис. 2.21.

2.66.

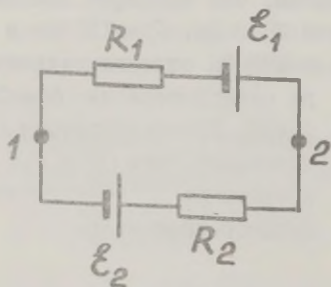


Рис. 2.22.

Найти разность потенциалов $\Delta\varphi$ точек 1 и 2 в схеме, изображенной на рис. 2.22, если $R_1 = 10 \text{ Ом}$, $R_2 = 20 \text{ Ом}$, $\mathcal{E}_1 = 5 \text{ В}$ и $\mathcal{E}_2 = 2 \text{ В}$. Внутренние сопротивления обоих источников тока пренебрежимо малы.

- 2.67. Четыре одинаковых источника тока, электродвижущая сила которых \mathcal{E} , внутреннее сопротивление $4\ \text{Ом}$, соединены согласно схеме, показанной на рис. 2.23. Определить показание вольтметра, считая его сопротивление бесконечно большим.

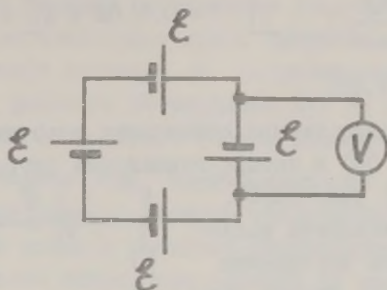


Рис. 2.23.

- 2.68. Чему равна разность потенциалов $\Delta\varphi$ между точками A и B , B и C в схеме, показанной на рис. 2.24, если $\mathcal{E}_1 = 75\ \text{В}$, $\mathcal{E}_2 = 30\ \text{В}$, $\mathcal{E}_3 = 15\ \text{В}$, $R_1 = 12\ \text{Ом}$ и $R_2 = 9\ \text{Ом}$? Внутреннее сопротивление каждого источника тока $r = 1\ \text{Ом}$.

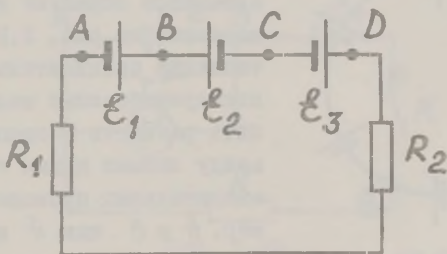


Рис. 2.24.

- 2.69. Аккумулятор ($\mathcal{E} = 12\ \text{В}$, $r = 1\ \text{Ом}$) заряжают током силой $\mathcal{I} = 3\ \text{А}$. Найти напряжение \mathcal{U} на клеммах аккумулятора.

2.70.

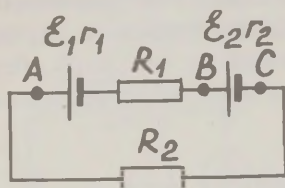


Рис. 2.25.

Найти напряжение между точками A и B , B и C в цепи, показанной на рис.

2.25, если $\mathcal{E}_1 = \mathcal{E}_2 = 2$ В, $r_1 = 1$ Ом, $r_2 = 1,5$ Ом, $R_1 = 0,5$ Ом и $R_2 = 5$ Ом.

2.71. Контур составляют четыре одинаковых источника тока ($\mathcal{E} = 2$ В, $r = 1$ Ом) и четыре одинаковых резистора ($R = 10$ Ом) (см. рис. 2.26).

Что будет показывать вольтметр с большим внутренним сопротивлением, будучи подключен к точкам 1 и 2, 5 и 6, 3 и 4?

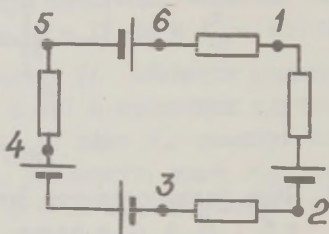


Рис. 2.26.

2.72.

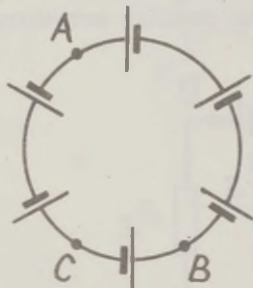


Рис. 2.27.

Шесть одинаковых гальванических элементов образуют контур, показанный на рис. 2.27. Сопротивление соединительных проводов пренебрежимо мало. Определить разность потенциалов $\Delta\varphi$ между любыми двумя точками соединительных проводов, например, A и B или A и C . Решить такую же задачу для случая, когда

электродвижущие силы элементов различны, а внутренние сопротивления прямо пропорциональны электродвижущим силам. Каким будет ответ на первый вопрос, если соседние элементы обращены один к другому одноименными полюсами?

2.73. Для питания потребителя, сопротивление которого R , пользуются батареей, состоящей из двух элементов (\mathcal{E}_1 , r_1 и \mathcal{E}_2 , r_2), соединенных последовательно. Найти

условие, при котором ток от такой батареи был бы больше тока, который получал бы потребитель при питании его одним из элементов ($\mathcal{E}_1, \mathcal{E}_2$).

- 2.74. Два источника тока с одинаковыми электродвижущими силами, но разными внутренними сопротивлениями r_1 и r_2 соединены последовательно. Предполагая, что $r_2 > r_1$, найти такое значение R сопротивления нагрузки, при котором разность потенциалов $\Delta\varphi$ на клеммах одного из элементов (какого?) станет равной нулю.
- 2.75. Два источника тока, электродвижущие силы которых \mathcal{E}_1 и \mathcal{E}_2 , вольтметр с большим сопротивлением и с нулем посередине шкалы и резистор сопротивлением R соединены согласно схеме, приведенной на рис. 2.28. Внутренние сопротивления источников тока равны сопротивлению внешней нагрузки R . При разомкнутом ключе K стрелка вольтметра отклонилась вправо. Найти соотношение между \mathcal{E}_1 и \mathcal{E}_2 , при котором стрелка вольтметра в случае замкнутого ключа K отклонится а) вправо, б) влево, в) останется на нуле.

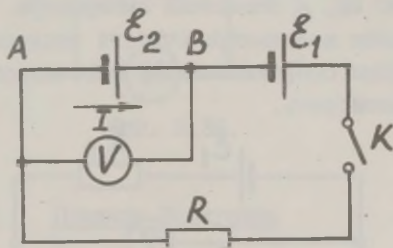


Рис. 2.28.

- 2.76. Два источника тока, два вольтметра с большим внутренним сопротивлением и с нулем посередине шкалы и резистор сопротивлением R соединены согласно схеме, приведенной на рис. 2.29, а. При разомкнутом ключе K стрелки обоих вольтметров отклонились вправо и показывают $U_1 = 1,8$ В и $U_2 = 1,4$ В. При замкнутом ключе показания вольтметров $U'_1 = 1,4$ В, а $U'_2 = 0,6$ В, причем стрелки обоих приборов попрежнему отклонены вправо. Какими будут показания вольтметров, если соединить

их согласно схеме, приведенной на рис. 2.29, б, а ключ K замкнуть?

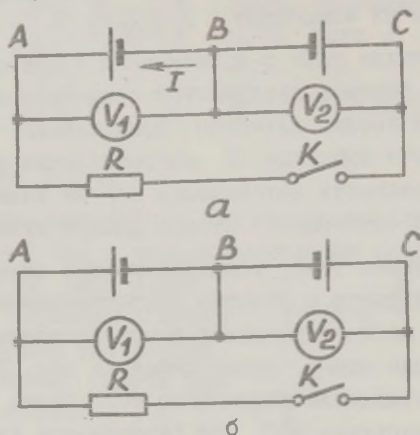


Рис. 2.29.

- 2.77. Найти показание вольтметра \mathcal{U} в схеме, приведенной на рис. 2.30, если известно, что $\mathcal{E}_1 = \mathcal{E}_2 = 1,5$ В, $R_1 = R_2 = 20$ Ом, а показание амперметра $\mathcal{I} = 75$ мА. Сопротивление вольтметра считать бесконечно большим, а внутренними сопротивлениями источников тока и амперметра пренебречь.

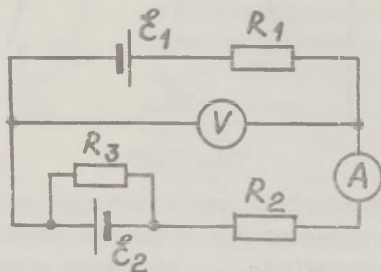


Рис. 2.30.

- 2.78. На рис. 2.31 изображен участок электрической цепи, в котором сопротивления резисторов $R_1 = 3,7$ Ом и $R_2 = 5,6$ Ом, электродвижущая сила источника тока $\mathcal{E} = 5$ В, а внутреннее сопротивление его пренебрежимо мало.

Сила тока в этом участке $\mathcal{I} = I$ А. Определить разность потенциалов \mathcal{U} между точками A и B , B и C , A и C .

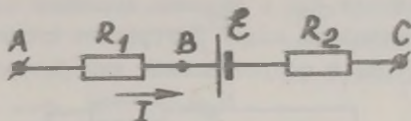


Рис. 2.31.

- 2.79. Участок электрической цепи, изображенный на рис.2.32, содержит резистор сопротивлением R и источник тока с электродвижущей силой $\mathcal{E} = 2,2$ В и пренебрежимо малым внутренним сопротивлением. Вольтметр с большим сопротивлением и нулем в середине шкалы, подключенный к клеммам резистора, показывает 0,5 В, причем стрелка его отклонена вправо. Ток тоже направлен вправо. Что будет показывать вольтметр, если его правую клемму соединить с точкой C ?

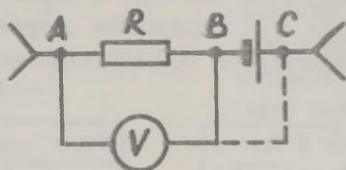


Рис. 2.32.

Правила Кирхгофа

- 2.80. В схеме, изображенной на рис. 2.33, \mathcal{E} , R_1 и R_2 суть известные величины. Изобразите графически зависимость силы тока, проходящего через резистор R_1 , от сопротивления реостата r и найдите крутизну этой кривой в точке $r = 0$.

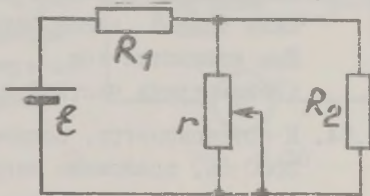


Рис.2.33.

- 2.81. Каким должно быть соотношение между величинами \mathcal{E} , R_X и R в контуре, изображенном на рис. 2.34, чтобы при изменении R_X в широких пределах показание амперметра изменялось мало? Внутреннее сопротивление источника тока и сопротивление амперметра пренебрежимо малы.

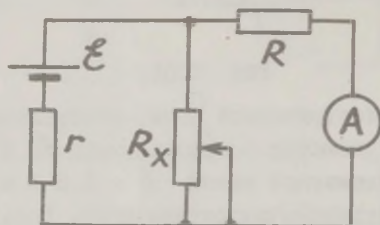


Рис. 2.34.

- 2.82. Подберите для контуров, изображенных на рис. 2.35, такое значение R , при котором показание амперметра оставалось бы одинаковым как при разомкнутом ключе K_1 и замкнутом ключе K_2 , так и при замкнутом K_1 и разомкнутом K_2 . Внутреннее сопротивление источника тока и амперметра пренебрежимо малы.

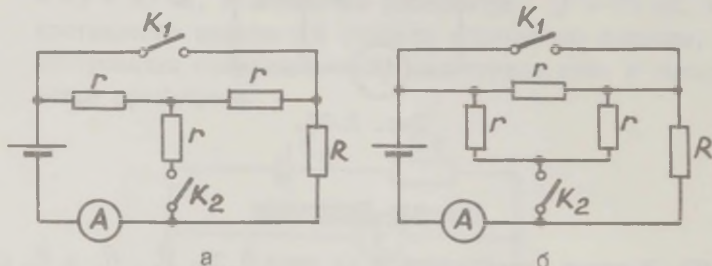


Рис. 2.35.

- 2.83. К клеммам батареи (\mathcal{E} , \mathcal{Z}) подключили два параллельно соединенных реостата сопротивлением R_1 и R_2 . Найти силу тока \mathcal{I} через батарею и \mathcal{I}_1 через реостат R_1 . Как изменится ток \mathcal{I}_1 , если реостат R_2 отключить? (Рассмотреть частный случай, когда $\mathcal{Z} \ll R_1$).
- 2.84. К потенциометру, полное сопротивление которого 2000 Ом, приложено напряжение 100 В (рис. 2.36). Между одним из его концов и скользящим контактом подклю-

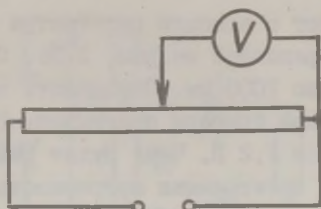


Рис. 2.36.

чен вольтметр сопротивлением 500 Ом. Чему равно показание вольтметра, если скользящий контакт находится в средней точке потенциометра?

- 2.85. Потенциометр, изображенный на рис. 2.37, имеет длину $\ell = 50$ см и полное сопротивление $R_0 = 500$ Ом, приложенное к нему напряжение $U = 200$ В. Сопротивление питаемого прибора M может принимать значения $R_1 = 5$ Ом, $R_2 = 50$ Ом, $R_3 = 500$ Ом, $R_4 = 5000$ Ом и $R_5 = \infty$.

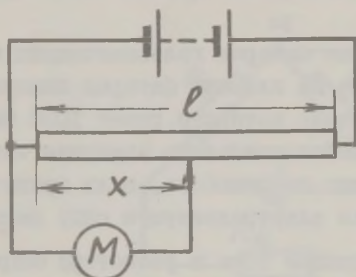


Рис. 2.37.

Определить для всех этих случаев зависимость напряжения U на клеммах этого прибора от расстояния x между скользящим контактом и концом потенциометра. Результаты представить аналитически и в виде пяти графиков на одной и той же координатной плоскости.

- 2.86. Сопротивление R измеряют с помощью вольтметра и амперметра по схеме, изображенной на рис. 2.38. Сопротивление амперметра равно 0,03 Ом. Определить значение R , если показания измерительных приборов равны 0,32 А и 9,6 В. Какая относительная погрешность будет допущена, если не принять в расчет сопротивление амперметра? Решить аналогичную задачу, если показания приборов равны 7 А и 2,1 В.

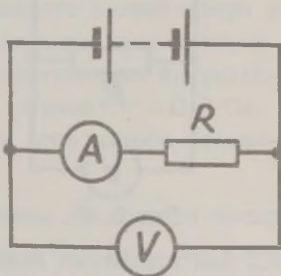


Рис. 2.38.

- 2.87. Сопротивление R измеряют с помощью вольтметра и амперметра по схеме, изображенной на рис. 2.39. Сопротивление вольтметра равно 1000 Ом . Определить значение R , если измерительные приборы показывают $2,4 \text{ А}$ и $7,2 \text{ В}$. Чему будет равна относительная погрешность результата, если не принять в расчет ток, проходящий через вольтметр? Решить аналогичную задачу, если показания измерительных приборов равны 24 мА и $7,2 \text{ В}$.

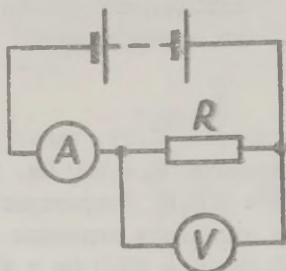


Рис. 2.39.

- 2.88. Внутреннее сопротивление батареи гальванических элементов 5 Ом . Напряжение на клеммах батареи измеряют вольтметром, сопротивление которого равно 1000 Ом . Сколько процентов от действительного значения электродвижущей силы составит погрешность, если принять показание вольтметра за электродвижущую силу батареи?
- 2.89. Контур состоит из источника тока и резистора сопротивлением R (рис. 2.40). Один вольтметр сопротивлением 6500 Ом , присоединенный к клеммам источника, показал 50 В ; второй вольтметр, подключенный к клеммам этого

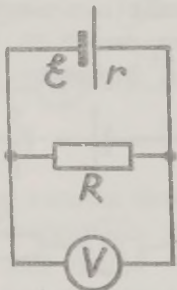


Рис. 2.40.

источника, показал 51 В , тогда как показание электростатического вольтметра оказалось равным 52 В . При разомкнутом контуре электростатический вольтметр дает показание 65 В . Определить внутреннее (r) и внешнее (R) сопротивление контура, а также сопротивление второго вольтметра (R_V).

- 2.90. Для сравнения неизвестного напряжения \mathcal{U} с электродвижущей силой нормального элемента $\mathcal{E} = 1,0183 \text{ В}$ пользуются схемой, изображенной на рис. 2.41. Найти

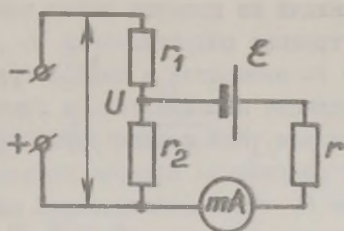


Рис. 2.41.

значение \mathcal{U} , если известно, что $z_1 + z_2 = 1000 \text{ Ом}$, $z = 500 \text{ Ом}$ (сюда входят внутреннее сопротивление элемента и сопротивление миллиамперметра) и что при $z_2 = 20 \text{ Ом}$ ток через элемент равен нулю.

- 2.91. В схеме, изображенной на рис. 2.42 известны значения сопротивлений R_1 , R_2 и R_3 , сила тока I , проходящего через источник тока, и напряжение \mathcal{U} между точками a и b . Найти сопротивление R_4 .

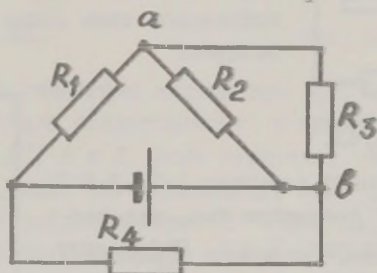


Рис. 2.42.

- 2.92. Аккумуляторную батарею, состоящую из $N = 120$ элементов емкостью $q = 360 \text{ А·час}$, заряжают в течение $t = 8 \text{ час}$. Для зарядки аккумулятора соединяют в четыре параллельные группы и пользуются напряжением $\mathcal{U} = 220 \text{ В}$. Электродвижущая сила каждого аккумулятора до зарядки была $\mathcal{E}_1 = 1,8 \text{ В}$, после зарядки надо довести ее до $\mathcal{E}_2 = 2,2 \text{ В}$. Внутреннее сопротивление аккумулятора можно считать постоянным и равным $z = 0,1 \text{ Ом}$. Какой реостат следует включить в цепь, чтобы обеспечить зарядку в этих условиях?
- 2.93. Для питания нагрузки сопротивлением R имеется четыре одинаковых элемента ($\mathcal{E} = 2 \text{ В}$, $z = 0,2 \text{ Ом}$). Как следует соединить эти элементы, чтобы получить в нагрузке ток максимальной силы? Чему равно это максимальное значение силы тока I_{max} ?

- 2.94. Одинаковые элементы, каждый из которых имеет электродвижущую силу \mathcal{E} и внутреннее сопротивление z , соединены в m групп, по n элементов в каждой группе. В группах элементы соединены параллельно, а группы между собой последовательно. Как должны быть сгруппированы элементы, чтобы полученная батарея питала внешнюю цепь сопротивлением R током максимальной силы? Чему равна эта максимальная сила тока I_{\max} ?

2.95.

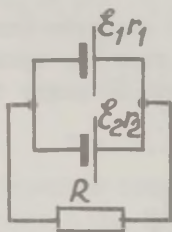


Рис. 2.43.

Два источника тока ($\mathcal{E}_1 = 2$ В, $z_1 = 1$ Ом и $\mathcal{E}_2 = 3$ В, $z_2 = 1,5$ Ом) образуют батарею (см. рис. 2.43), к клеммам которой подключен резистор ($R = 20$ Ом). Каким эквивалентным источником тока можно заменить эту батарею?

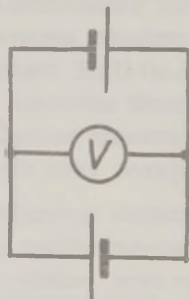


Рис. 2.44.

- 2.96. Два одинаковых элемента ($\mathcal{E} = 1,5$ В, $z = 2$ Ом) соединены так, как это показано на рис. 2.44). Найти силу тока, проходящего через элементы, и показание вольтметра.

- 2.97. Что покажет вольтметр в схеме предыдущей задачи, если $z_1 = 3$ Ом, а $z_2 = 1$ Ом? (Электродвижущая сила элементов останется прежней.)
- 2.98. Определить показание вольтметра в схеме, изображенной на рис. 2.45, если известно, что $\mathcal{E}_1 = 1,5$ В, $\mathcal{E}_2 = 1,6$ В, $R_1 = 1$ кОм, $R_2 = 2$ кОм, $R_v = 2$ кОм, а внутренние сопротивления источников тока ничтожно малы.
- 2.99. Три одинаковых источника тока соединены между собой согласно схеме, приведенной на рис. 2.46. Чему равно показание вольтметра U ?

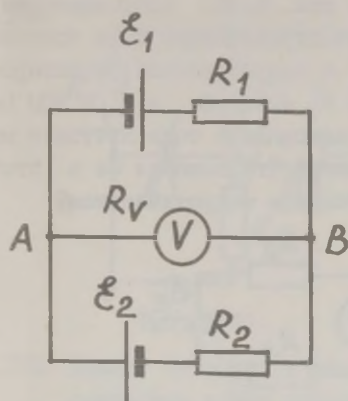


Рис. 2.45.

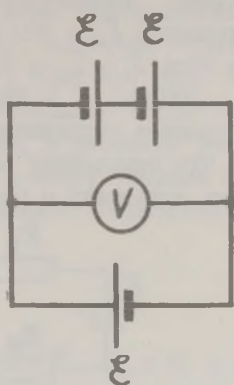


Рис. 2.46.

2.100. Чему равно показание вольтметра \mathcal{U} , имеющего большое внутреннее сопротивление, в цепях, показанных на рис. 2.47, а и б, если известно, что оба источника тока имеют электродвижущую силу $\mathcal{E} = 1,5$ В и внутреннее сопротивление $r = 0,5$ Ом, а $R = 0,5$ Ом? Как изменится показание вольтметра, если электродвижущую силу одного элемента увеличить в два раза, оставив его внутреннее сопротивление прежним?

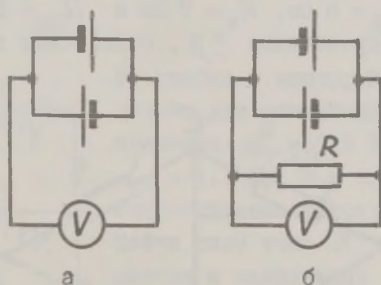


Рис. 2.47.

- 2.101. В схеме, изображенной на рис. 2.48, сопротивление вольтметра $R_V = 300 \text{ Ом}$, электродвижущие силы источников тока $\mathcal{E}_1 = \mathcal{E}_2 = 2,2 \text{ В}$, а сопротивления резисторов $R_1 = 100 \text{ Ом}$, $R_2 = 200 \text{ Ом}$, $R_3 = 300 \text{ Ом}$ и $R_4 = 400 \text{ Ом}$. Внутренние сопротивления источников тока ничтожно малы. Что показывает вольтметр? Что показал бы в этой схеме вольтметр с очень большим сопротивлением?

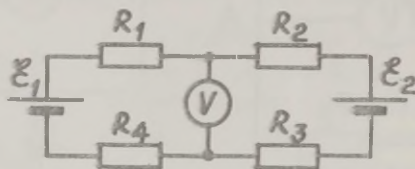


Рис. 2.48.

2.102.

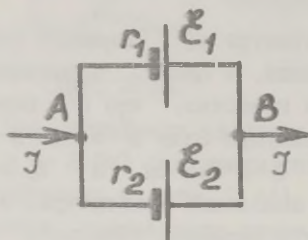


Рис. 2.49.

На рис. 2.49 показан контур, являющийся элементом некоторой более сложной цепи. Известно, что $\mathcal{E}_1 = 10 \text{ В}$, $r_1 = 1 \text{ Ом}$, $\mathcal{E}_2 = 12 \text{ В}$, $r_2 = 4 \text{ Ом}$ и $J = 3 \text{ А}$. Определить ток J через каждый источник.

- 2.103. В контуре, изображенном на рис. 2.50, $R_1 = 2 \text{ Ом}$, $R_2 = 3 \text{ Ом}$, $R_3 = 6 \text{ Ом}$, $R_4 = 7 \text{ Ом}$ и $U_{AB} = 36 \text{ В}$. Найти силу тока в проводника CD , считая его сопротивление равным нулю.

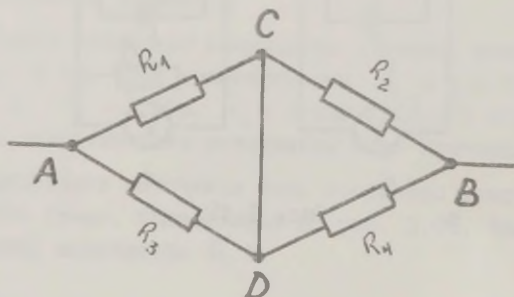
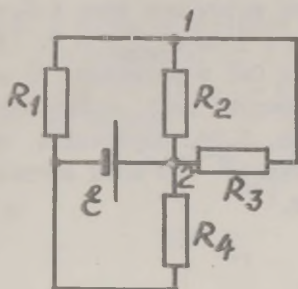


Рис. 2.50.

2.104.



В схеме, изображенной на рис. 2.51, известны сопротивления R_1 , R_2 и R_3 , сила тока I , проходящего через источник тока, и разность потенциалов U_{21} между точками 2 и 1. Определить сопротивление R_4 .

Рис. 2.51.

2.105. Десять одинаковых элементов ($\mathcal{E} = 1,5$ В, $r = 0,25$ Ом) соединены в две батареи: в одной шесть, в другой четыре элемента последовательно. Полученные батареи, соединенные параллельно, питают нагрузку сопротивлением 10 Ом. Определить напряжение на нагрузке.

2.106. Определить силу тока I и его направление в резисторе $R = 5$ Ом (рис. 2.52), если $\mathcal{E}_1 = 1,5$ В, $\mathcal{E}_2 = 3,7$ В, $R_1 = 10$ Ом и $R_2 = 20$ Ом. Внутренние сопротивления источников тока пренебрежимо малы.

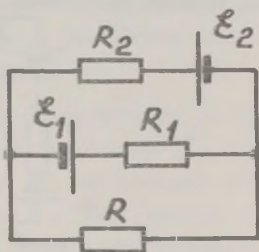
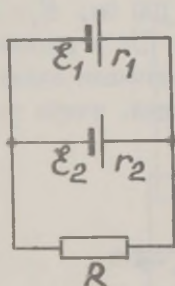


Рис. 2.52.

2.107.



По ошибке в контур включили параллельно два различных гальванических элемента: $\mathcal{E}_1 = 1,9$ В, $r_1 = 0,1$ Ом и $\mathcal{E}_2 = 1,1$ В, $r_2 = 0,8$ Ом (рис. 2.53). Сопротивление нагрузки $R = 10$ Ом. Найти силу тока I в каждом из элементов и напряжение U на нагрузке R .

Рис. 2.53.

2.108.

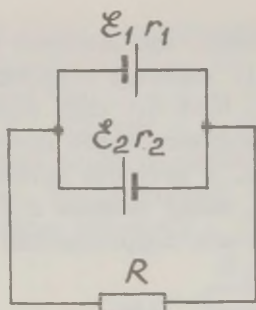


Рис. 2.54.

Два источника тока ($\mathcal{E}_1 = 10$ В, $z_1 = 1$ Ом и $\mathcal{E}_2 = 8$ В, $z_2 = 2$ Ом) и резистор $R = 6$ Ом образуют цепь, показанную на рис. 2.54. Определить силу тока \mathcal{I} во всех ветвях цепи.

2.109. Цепь, схема которой приведена на рис. 2.55, состоит из источников тока $\mathcal{E}_1 = 55$ В, $z_1 = 0,3$ Ом; $\mathcal{E}_2 = 10$ В, $z_2 = 0,4$ Ом; $\mathcal{E}_3 = 30$ В, $z_3 = 0,1$ Ом и $\mathcal{E}_4 = 15$ В, $z_4 = 0,2$ Ом и резисторов $R_1 = 9,5$ Ом, $R_2 = 19,6$ Ом и $R_3 = 4,9$ Ом. Найти силу \mathcal{I} токов, проходящих через каждый источник.

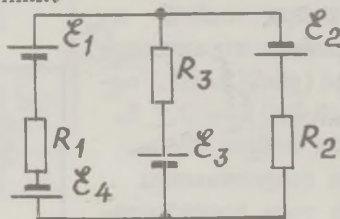


Рис. 2.55.

2.110. О цепи, схема которой приведена на рис. 2.56, Известно: $\mathcal{E}_1 = 1,5$ В, $\mathcal{E}_2 = 1$ В, $R = 100$ Ом, $R_1 = 50$ Ом, $R_2 = 80$ Ом. Определить силу тока \mathcal{I} в резисторе R . В каком соотношении должны быть значения электродвижущих сил источников и сопротивлений, чтобы ток не проходил через источник 2?

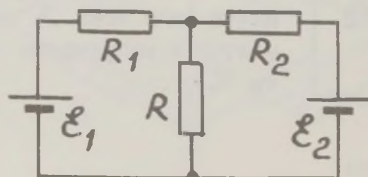


Рис. 2.56.

- 2.III. В цепи, показанной на рис. 2.57, известны следующие ее элементы: $\mathcal{E}_1 = 2$ В, $\mathcal{E}_2 = 4$ В, $\mathcal{E}_3 = 6$ В, $R_1 = 4$ Ом, $R_2 = 6$ Ом, $R_3 = 8$ Ом. Найти силу тока \mathcal{I} во всех ее ветвях.

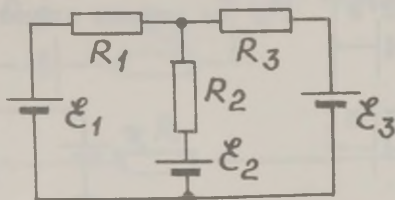


Рис. 2.57.

- 2.II2. Две батареи ($\mathcal{E}_1 = 10$ В, $r_1 = 1$ Ом и $\mathcal{E}_2 = 15$ В, $r_2 = 2$ Ом) соединены последовательно и к клеммам полученного таким образом источника тока подключен реостат сопротивлением $R = 10$ Ом. Средняя точка реостата соединена с общей клеммой батареи проводником, сопротивление которого $R_1 = 5$ Ом. Найти силу тока \mathcal{I} во всех участках такой цепи.

- 2.II3. Элементы цепи, изображенной схематически на рис. 2.58, подобраны так, чтобы в источнике \mathcal{E}_1 тока не было. Чему равно напряжение \mathcal{U}_2 на клеммах резистора R_2 и ток \mathcal{I}_3 в резисторе R_3 ? Внутренние сопротивления источников тока в расчет не принимать. Определить также значения сопротивлений R_1 , R_2 и R_4 .

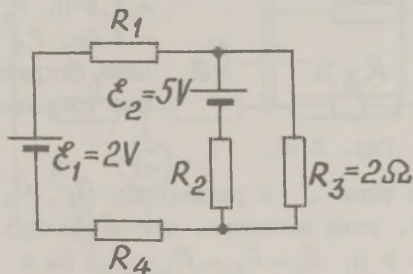


Рис. 2.58.

2.II4.

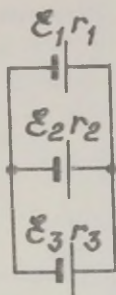


Рис. 2.59.

2.II5. В цепи, схема которой приведена на рис.2.60, известны значения следующих ее элементов:

$$\mathcal{E}_1 = 1,5 \text{ В}; \mathcal{E}_2 = 2 \text{ В},$$

$$\mathcal{E}_3 = 2,5 \text{ В}, R_1 = 10 \text{ Ом}, R_2 = 20 \text{ Ом}, R_3 = 30 \text{ Ом}.$$

Внутренние сопротивления источников тока пренебрежимо малы. Найти силу тока \mathcal{I}_1 в резисторе R_1 и разность потенциалов $\Delta\varphi$ между точками A и B .

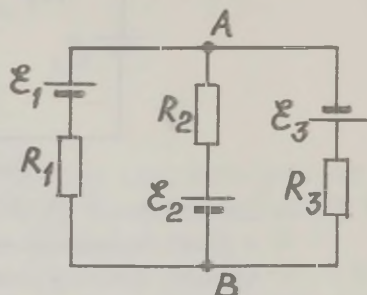


Рис. 2.60.

2.II6.

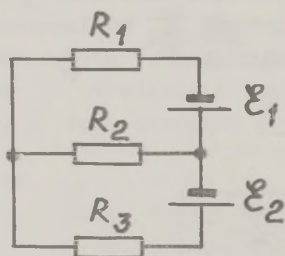


Рис. 2.6I.

Найти токи \mathcal{I} во всех участках цепи, схема которой приведена на рис. 2.6I, если известно, что $\mathcal{E}_1 = 2 \text{ В}$, $\mathcal{E}_2 = 4,5 \text{ В}$, $R_1 = 5 \text{ Ом}$, $R_2 = 4 \text{ Ом}$, $R_3 = 2 \text{ Ом}$. Внутренними сопротивлениями источников тока пренебречь.

2.II7. Найти токи \mathcal{I} в резисторах R_1 , R_2 и R (см. рис. 2.62), если известно, что $\mathcal{E}_1 = 1,3 \text{ В}$, $\mathcal{E}_2 = 1,5 \text{ В}$, $\mathcal{E}_3 = 2 \text{ В}$, $R_1 = R_2 = R_3 = 0,2 \text{ Ом}$ и $R = 0,55 \text{ Ом}$. Внутренние сопротивления источников тока ничтожно малы.

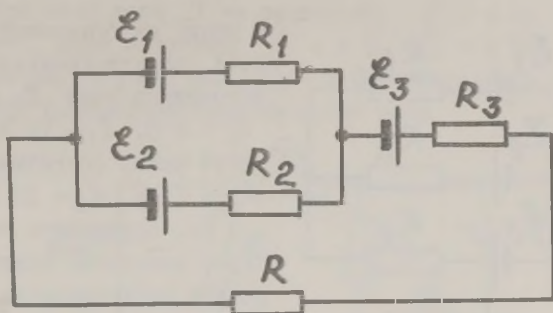


Рис. 2.62.

2.118. В цепи, схема которой изображена на рис. 2.63, сопротивления R_1 , R_2 и R_3 подобраны так, что тока в гальванометре нет. Известны значения R_1 , R_2 и R_3 , а также \mathcal{E}_1 и \mathcal{E}_3 . Считая внутренние сопротивления источников тока практически равными нулю, найти значение \mathcal{E}_2 , а также силу тока \mathcal{I}_1 , проходящего через источник \mathcal{E}_1 .

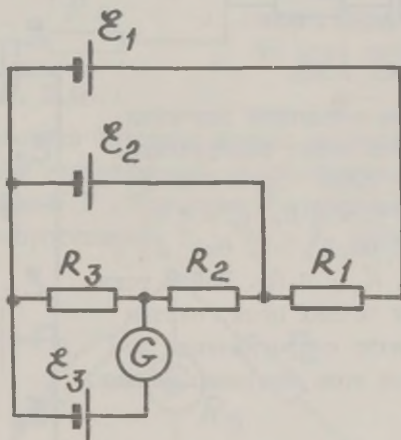


Рис. 2.63.

2.119.

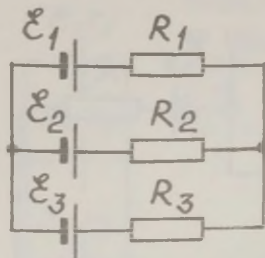


Рис. 2.64.

В цепи, изображенной на рис. 2.64, электродвижущие силы источников тока $\mathcal{E}_1 = 22$ В, $\mathcal{E}_2 = 8$ В, $\mathcal{E}_3 = 12$ В, а реостаты имеют сопротивления $R_1 = 5$ Ом, $R_2 = 10$ Ом, $R_3 = 3$ Ом. Определить токи J через реостаты, приняв внутренние сопротивления источников тока равными нулю.

2.120.

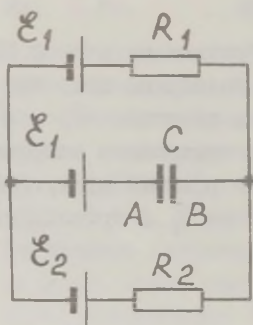


Рис. 2.65.

В контуре, изображенном на рис. 2.65, $\mathcal{E}_1 = 1$ В, $\mathcal{E}_2 = 2,5$ В, $R_1 = 10$ Ом, $R_2 = 20$ Ом. Внутренние сопротивления источников тока пренебрежимо малы. Найти разность потенциалов $\varphi_A - \varphi_B$ на обкладках A и B конденсатора C .

2.121. Известны следующие значения элементов цепи, изображенной на рис. 2.66: $\mathcal{E}_1 = 1$ В, $\mathcal{E}_2 = 2$ В, $\mathcal{E}_3 = 3$ В, $\mathcal{E}_4 = 4$ В, $R_1 = 1$ Ом, $R_2 = 2$ Ом, $R_3 = 3$ Ом, $R_4 = 4$ Ом. Найти токи во всех ветвях цепи, считая внутренние сопротивления источников тока ничтожно малыми.

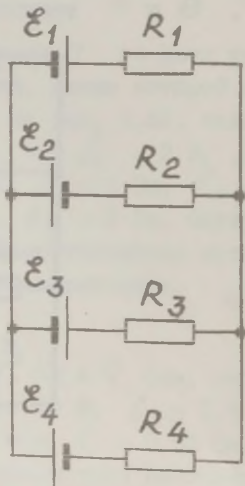


Рис. 2.66.

- 2.122. Найти силу тока \mathcal{I} в резисторе $R = 4 \text{ Ом}$ (рис. 2.67), если известно: $\mathcal{E} = 4 \text{ В}$, $\mathcal{E}_0 = 2 \text{ В}$, $R_1 = 10 \text{ Ом}$, $R_2 = 1 \text{ Ом}$, $R_3 = 2 \text{ Ом}$. Внутренние сопротивления источников тока ничтожно малы.

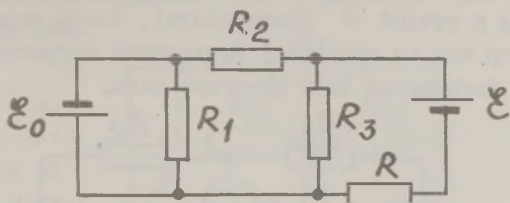
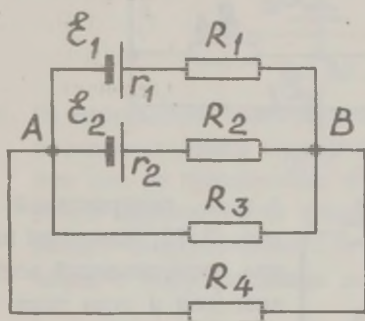


Рис. 2.67.

- 2.123.



О цепи, схема которой приведена на рис. 2.68, имеются следующие данные: $R_1 = R_4 = 2 \text{ Ом}$, $R_2 = R_3 = 4 \text{ Ом}$, $\mathcal{E}_1 = 10 \text{ В}$, $\mathcal{E}_2 = 4 \text{ В}$. Внутренние сопротивления источников тока ничтожно малы. Определить токи \mathcal{I} во всех ветвях цепи.

Рис. 2.68.

- 2.124. На концы мостика Уитстона подано напряжение \mathcal{U} (рис. 2.69). Через гальванометр, сопротивление которого R_g , идет ток силой \mathcal{I} . Определить сопротивление z_1 , если известны сопротивления z_2 , z_3 и z_4 других плеч мостика.

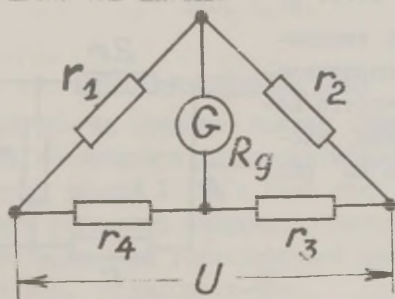


Рис. 2.69.

- 2.125. В цепи, изображенной на рис. 2.70, $\mathcal{E}_1 = 6 \text{ В}$, $R_1 = 100 \text{ Ом}$, $R_2 = 50 \text{ Ом}$, $R_3 = 40 \text{ Ом}$, $R_4 = 80 \text{ Ом}$. Какова должна быть электродвижущая сила \mathcal{E}_2 источника тока и как следует включить его между гальванометром и точкой A (полярность), чтобы через гальванометр ток не проходил? Внутренние сопротивления обоих источников тока ничтожно малы.

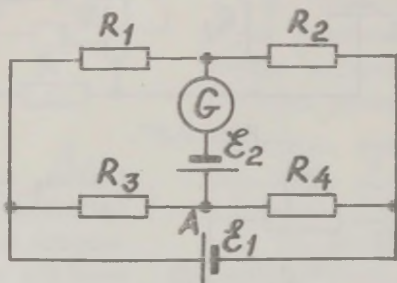


Рис. 2.70.

2.126.

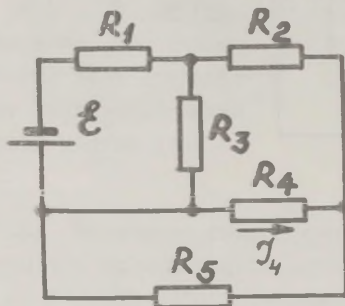


Рис. 2.71.

В цепи, изображенной на рис. 2.71, известны значения сопротивлений всех резисторов и сила тока I_4 в резисторе R_4 . Определить электродвижущую силу источника тока \mathcal{E} , считая внутреннее сопротивление его равным нулю.

- 2.127. Определить эквивалентное сопротивление R_{AB} участка некоторой цепи, изображенного на рис. 2.72.

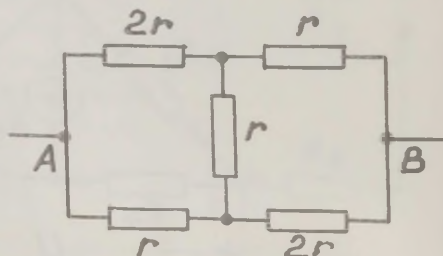


Рис. 2.72.

- 2.128. В цепи, изображенной на рис. 2.73, известны значения следующих ее элементов: $\mathcal{E} = 10 \text{ В}$, $R_1 = 5 \text{ Ом}$, $R_2 = R_3 = 3 \text{ Ом}$, $R_4 = R_5 = 1 \text{ Ом}$. Внутреннее сопротивление батареи пренебрежимо мало. Определить токи \mathcal{I} во всех ветвях цепи.

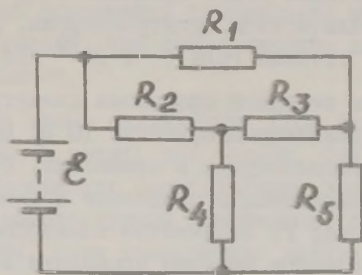


Рис. 2.73.

- 2.129. На однородной телеграфной линии имеется повреждение с сопротивлением заземления R (рис. 2.74). Показать, что ток на принимающем конце линии будет наименьшим в том случае, когда повреждение находится в середине линии. Сопротивление приемного аппарата мало по сравнению с сопротивлением всей линии.

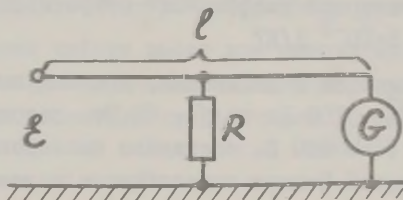


Рис. 2.74.

Работа и мощность тока

- 2.130. Грозовой разряд (молния) длится приблизительно 1 мс. Разность потенциалов на концах искрового канала можно принять равной 1 ГВ, а силу тока равной 20 кА. Вычислить стоимость энергии, освобождающейся в таком разряде, исходя из установленной цены на электроэнергию — 4 коп. за киловатт-час.

- 2.131. В земной атмосфере происходит в среднем сто грозových разрядов в секунду. Используя данные предыдущей задачи, вычислить электроэнергию, расходуемую на молнии в течение года. Сравнить полученный результат с общим количеством электроэнергии, вырабатываемой на Земле в течение года ($\sim 5 \cdot 10^{12}$ кВт·час).
- 2.132. К концам железной проволоки диаметром 0,6 мм и длиной 1,5 м приложено напряжение 10 В. Вычислить: а) мощность, выделяющуюся в проволоке; б) количество теплоты, выделяющейся в проволоке в течение часа; в) плотность тока; г) количество электронов, проходящих через поперечное сечение проволоки в одну секунду; д) среднюю скорость направленного движения электронов, приняв концентрацию свободных электронов равной концентрации атомов.
- 2.133. Надпись на лампочке накаливания гласит: 120 В, 60 Вт. Сопротивление нити в холодном состоянии измерили с помощью мостика Уитстона и оно оказалось равным 20 Ом. Чему равна температура нормального накала нити, если температурный коэффициент сопротивления ее материала равен $5 \cdot 10^{-3}$ 1/К?
- 2.134. Две лампочки накаливания, номинальные мощности которых $P_1 = 100$ Вт и $P_2 = 60$ Вт, рассчитанные на напряжение $U = 200$ В, соединены последовательно. Как распределятся теперь выделяющиеся в лампочках мощности, если не учитывать изменение сопротивления, связанное с изменением температуры?
- 2.135. Две электрические лампочки, рассчитанные на напряжение 120 В, соединены последовательно и включены в сеть напряжением 220 В. Мощность одной лампочки 90 Вт, другой 40 Вт. Которая из лампочек будет светиться интенсивней?
- 2.136. Имеется три лампы накаливания мощностью 50 Вт, 50 Вт и 100 Вт, рассчитанные на напряжение 110 В. Как следует соединить эти лампы между собой, чтобы при включении в сеть напряжением 220 В они горели нормально?

Какой силы будет ток в лампах?

- 2.137. Электрическую лампочку в 25 Вт, рассчитанную на напряжение 110 В, включили в сеть напряжением 120 В через реостат. Как изменится напряжение на клеммах лампочки, если к ней подключить параллельно еще три таких лампочки? (Считать, что сопротивление лампочки при этом не изменится.)
- 2.138. Сопротивление лампы накаливания (100 Вт, 120 В) в рабочем режиме в десять раз больше, чем в холодном состоянии. Определить сопротивление лампы в холодном состоянии и температурный коэффициент сопротивления материала нити, если температура накала равна 2000 °С.
- 2.139. Источник напряжения в 110 В питает цепь, состоящую из печи и последовательно с ней соединенного реостата сопротивлением 5 Ом. При каком сопротивлении печи в ней будет выделяться мощность 400 Вт ?
- 2.140. Электродвижущая сила гальванического элемента равна 1,5 В, внутреннее сопротивление его 1 Ом. При каком сопротивлении питаемой им нагрузки в ней выделяется мощность 0,5 Вт? Чему равна при этом сила тока?
- 2.141. Электрический чайник имеет две секции нагревательной проволоки. При включении одной он вскипает через 10 мин, при включении другой через 20 мин. Через сколько времени вскипит чайник, если включить обе секции а) последовательно, б) параллельно? Напряжение, коэффициент полезного действия, количество воды и начальную температуру ее считать во всех случаях одинаковыми.
- 2.142. Сколько витков никелиновой проволоки надо намотать на фарфоровый цилиндр диаметром 1,5 см, чтобы изготовить кипятильник, в котором в течение 10 мин. закипит 1,2 литра воды, взятой при 10 °С? Коэффициент полезного действия кипятильника принять равным 60 %, диаметр проволоки равен 0,2 мм, напряжение сети 100 В.

- 2.143. Для исследования теплового действия электрического тока Ленц использовал сосуд, наполненный спиртом, в который была помещена платиновая спираль. Пропуская через спираль электрический ток и измеряя время, в течение которого температура повышалась на 1°C , можно было определить количество выделившейся теплоты. Найти скорость повышения температуры в такой установке, если известны: длина спирали 40 см, диаметр проволоки 1 мм, напряжение на концах спирали 1,1 В и масса спирта 1 кг. Удельное сопротивление платины в условиях опыта принять равным $12 \text{ мкОм}\cdot\text{см}$. Теплоемкостью сосуда пренебречь.
- 2.144. Для соединения потребителя с магистралью используется пара проводов, каждый из которых имеет сопротивление 0,25 Ом. Напряжение магистрали 127 В. Определить максимальную потребляемую мощность, при которой напряжение на клеммах потребителя не опускалось бы ниже 120 В.
- 2.145. Сколько ламп мощностью 300 Вт, рассчитанных на напряжение 110 В, можно включить в доме, соединенном с магистралью двухжильным медным кабелем длиной 50 м с поперечным сечением жилы 9 мм^2 ? Напряжение магистрали равно 122 В.
- 2.146. От источника мощностью 5 кВт и с напряжением на его клеммах 110 В надо передать электроэнергию на расстояние в 5 км. Каким должен быть минимальный диаметр медных проводов, чтобы потери энергии в них не превышали 10 % от мощности источника?
- 2.147. От одного и того же источника тока питают попеременно лампу сопротивлением 200 Ом и лампу сопротивлением 500 Ом. В обоих случаях мощность, потребляемая лампой, одинакова и равна 200 Вт. В обоих случаях используется одна и та же проводка. Чему будет равен ток короткого замыкания в проводах?
- 2.148. На свинцовую проволочку длиной 5 см подают напряжение 100 В. Через сколько времени проволочка начнет

плавиться, если начальная температура ее была 10°C ? Температура плавления свинца 327°C . Тепловыми потерями и изменением удельной теплоемкости при нагревании пренебречь.

- 2.149. Сравнить напряжения U_1 и U_2 на клеммах, а также мощности P_1 и P_2 , развиваемые во внешней цепи следующими двумя генераторами тока: а) батареей из пятидесяти элементов, соединенных последовательно и имеющих каждый э.д.с. $\mathcal{E}_0 = 2\text{ В}$ и внутреннее сопротивление $r_0 = 0,2\text{ Ом}$, причем внешняя цепь имеет сопротивление $R_1 = 200\text{ Ом}$; б) электрофорной машиной с несколькими дисками, создающей на шаровых кондукторах разность потенциалов в 200 кВ и обладающей внутренним сопротивлением 100 МОм , когда ее подключают к внешней цепи сопротивлением $R_2 = 100\text{ кОм}$. Как изменятся токи и мощности во внешней цепи, если сопротивления внешних цепей удвоить?

- 2.150. Найти работу электрических сил A и количество теплоты Q , выделившейся в одну секунду, в следующих случаях: а) в проводнике, по которому идет ток силой $I\text{ А}$ при напряжении на его концах 2 В (рис. 2.75, а);

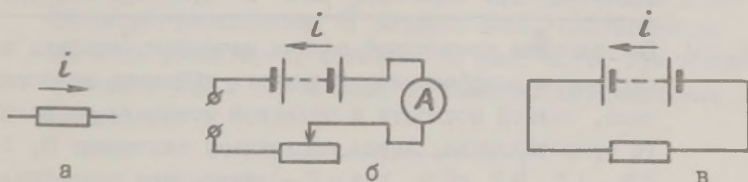


Рис. 2.75.

- б) в аккумуляторе, который заряжают током $I\text{ А}$, причем напряжение на клеммах источника тока 2 В , а его электродвижущая сила $1,3\text{ В}$. (рис. 2.75, б); в) в аккумуляторе, создающем во внешней цепи ток силой $I\text{ А}$, напряжение на клеммах его 2 В , а электродвижущая сила $2,6\text{ В}$ (рис. 2.75, в).

- 2.151. При подключении к одному и тому же источнику тока попеременно резисторов $R_1 = 1 \text{ Ом}$ и $R_2 = 16 \text{ Ом}$ в них выделяется одинаковая мощность. Определить внутреннее сопротивление r источника.
- 2.152. Контур состоит из источника тока, электродвижущая сила которого 10 В , и внешней части сопротивлением 3 Ом . Сила тока в контуре равна 2 А . Определить коэффициент полезного действия η контура. Каким должно быть сопротивление внешней части контура R , чтобы к.п.д. цепи был 100% ?
- 2.153. К источнику тока подключили потребитель с регулируемым сопротивлением. Зависимость потребляемой мощности от силы тока показана в нижеследующей таблице. Изобразить описанную зависимость графически, определить внутреннее сопротивление r и электродвижущую силу \mathcal{E} источника. Начертить также графики, отображающие зависимость коэффициента полезного действия и напряжения на клеммах потребителя от силы тока.
- | | | | | | | | | | | | |
|----------------|---|-----|-----|-----|-----|---|-----|-----|-----|-----|----|
| $I(\text{А})$ | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| $P(\text{Вт})$ | 0 | 1,8 | 3,2 | 4,2 | 4,8 | 5 | 4,8 | 4,2 | 3,2 | 1,8 | 0 |
- 2.154. По условиям предыдущей задачи начертить графики зависимости коэффициента полезного действия источника тока, полной мощности и полезной мощности от внешнего сопротивления, давая последнему значения: $0, r, 2r, 3r, 4r, 5r$, где r — внутреннее сопротивление источника.
- 2.155. Батарею ($\mathcal{E} = 40 \text{ В}, r = 5 \text{ Ом}$) соединили с реостатом, сопротивление R которого можно изменять в пределах $0 - 35 \text{ Ом}$. Начертить в одной и той же системе координат графики зависимости мощности, развиваемой во внешней цепи; мощности, рассеивающейся внутри источника, и полной мощности от значения внешнего сопротивления.

- 2.156. Электродвижущая сила источника тока $\mathcal{E} = 12$ В. Максимальная сила тока, который может давать этот источник, $I_{\max} = 5$ А. Какую максимальную мощность может развивать этот источник в нагрузке, представляющей собой резистор с регулируемым сопротивлением?
- 2.157. Источник тока при внешней нагрузке 5 Ом дает ток силой 1 А. Ток короткого замыкания 6 А. Определить максимальную полезную мощность, которую может развивать этот источник.
- 2.158. Определить электродвижущую силу \mathcal{E} аккумуляторной батареи с внутренним сопротивлением 0,5 Ом, если при внешнем сопротивлении 2 Ом она развивает полезную мощность $P = 4,5$ Вт. Можно ли подобрать такое внешнее сопротивление, при котором полезная мощность увеличилась бы в два раза?
- 2.159. Какую максимальную мощность может развивать во внешней цепи элемент, электродвижущая сила которого равна 2 В, а внутреннее сопротивление 0,1 Ом?
- 2.160. К источнику постоянного тока, внутреннее сопротивление которого Z , присоединили три одинаковых резистора сопротивлением R каждый. Цепь, составленная из этих резисторов, показана на рис. 2.76. При каком значении R в такой цепи развивается максимальная мощность?

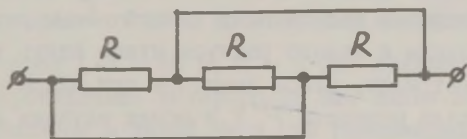


Рис. 2.76.

- 2.161. Чему равен коэффициент полезного действия свинцового аккумулятора η , если известно, что при внешнем сопротивлении 0,25 Ом он дает ток силой 5 А, а электродвижущая сила его 2,15 В? Какую максимальную мощность P_{\max} может этот аккумулятор развивать во внешней цепи? Каков будет при этом его коэффициент полезного действия η' ?

2.162. Источник тока состоит из пяти одинаковых элементов ($\mathcal{E} = 1,5 \text{ В}$, $r = 0,3 \text{ Ом}$), соединенных последовательно. При каком значении сопротивления нагрузки R развиваемая в ней мощность будет максимальной? Чему равна при этом сила тока I и полная мощность P ?

2.163. Батарея состоит из $N = 300$ одинаковых элементов, каждый из которых имеет внутреннее сопротивление $r = 0,3 \text{ Ом}$. От батареи питают нагрузку сопротивлением $R = 10 \text{ Ом}$. В батарее элементы образуют n одинаковых параллельных групп, внутри которых элементы соединены последовательно. При каком значении n мощность, развиваемая в нагрузке, будет максимальной?

2.164.

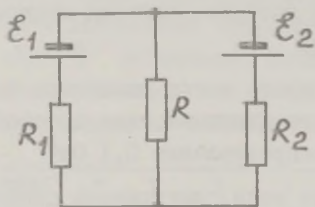


Рис. 2.77.

В цепи, схема которой приведена на рис. 2.77, $\mathcal{E}_1 = 6 \text{ В}$, $\mathcal{E}_2 = 12 \text{ В}$, $R_1 = 2 \text{ Ом}$, $R_2 = 3 \text{ Ом}$. Внутренние сопротивления источников тока ничтожно малы. При каком значении R выделяемая в ней мощность P будет максимальной? Чему

она равна?

2.165. Электрическая лампочка рассчитана на напряжение U и потребляет мощность P . Нить этой лампочки можно рассматривать как цилиндр длиной L с радиусом r . Какой длины и какого радиуса нужно взять нить из того же материала, чтобы лампочка при напряжении U' потребляла мощность P' ? В обоих случаях считать температуру накала одинаковой, а охлаждение нити пропорциональным ее поверхности.

2.166. Для накала нити электронной лампы требуется напряжение $3,8 \text{ В}$, при этом через нить проходит ток силой $0,65 \text{ А}$. Вследствие испарения материала нити диаметр ее уменьшился на 10% . Какое требуется теперь напряжение, чтобы поддержать температуру накала прежней? Какой идет при этом ток?

- 2.167. К электродам электролитической ванны приложена разность потенциалов \mathcal{U} , которая поддерживается постоянной. Сопротивление электролита изменяется с температурой по закону

$$R_t = \frac{R_0}{1 + \alpha t}.$$

Принимая, что охлаждение электролита подчинено закону Ньютона, согласно которому количество тепла, отдаваемое единицей поверхности проволоки за единицу времени $Q = k(t - t_0)\tau$, где t_0 — температура окружающей среды, найти установившуюся температуру электролита. Массу электролита и его удельную теплоемкость считать неизменными.

- 2.168. Сила тока в резисторе сопротивлением 100 Ом нарастает равномерно и в течение 30 с увеличивается от нуля до 10 А. Какое количество тепла выделится за это время в резисторе?
- 2.169. Найти количество тепла, выделяющегося в резисторе сопротивлением 12 Ом, если сила тока в нем увеличивается равномерно за время 5 с от 2 до 10 А.
- 2.170. Найти работу тока в резисторе сопротивлением 12 Ом, если сила его уменьшается равномерно за 5 с от 10 до 2 А.
- 2.171. Найти работу тока за время t , если сила тока и напряжение, увеличиваясь равномерно, изменяются за это время от нуля до конечных значений I и \mathcal{U} .
- 2.172. Батарея ($\mathcal{E} = 40$ В, $\mathcal{Z} = 5$ Ом) соединена с реостатом, сопротивление которого 35 Ом. Какое количество тепла выделится в такой цепи при равномерном перемещении скользящего контакта реостата из одного конца его в другой в течение 5 с?
- 2.173. В контуре, изображенном схематически на рис. 2.78, э.д.с. и внутреннее сопротивление источника тока $\mathcal{E} = 7,5$ В и $\mathcal{Z} = 0,5$ Ом. Сопротивление нагрузки $R = 9,5$ Ом. Сопротивление реостата R_x изменяется в

течение 10 с равномерно от 15 Ом до 5 Ом. Какое количество тепла выделится за это время в нагрузке R ?

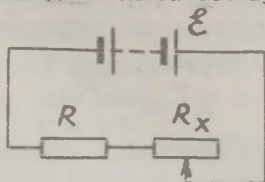


Рис. 2.78.

- 2.174. Через нагреватель сопротивлением R проходит заряд q . Какое количество тепла Q выделится в нагревателе, если сила тока в нем уменьшается: а) равномерно за время Δt до нуля; б) монотонно до нуля, но так, что за каждый промежуток времени Δt она уменьшается в два раза?
- 2.175. Обкладки конденсатора емкостью $C = 5$ мкФ, заряженного до напряжения $U = 200$ В, соединили через два резистора сопротивлением $R_1 = 400$ Ом и $R_2 = 100$ Ом, включенных последовательно. Найти количество тепла Q_1 , выделившегося в резисторе R_1 .
- 2.176. Радиусы обкладок сферического конденсатора a и b , причем $a < b$. Пространство между ними заполняет диэлектрик с относительной проницаемостью ϵ и удельным сопротивлением ρ . В момент времени $t = 0$ на внутреннюю обкладку незаряженного конденсатора подается заряд q_0 . Определить: а) временную зависимость заряда внутренней обкладки, б) количество теплоты Q , выделяющейся в конденсаторе в ходе утечки заряда с внутренней обкладки.
- 2.177. На обкладки конденсатора емкостью $C = 2$ мкФ подали разноименные заряды $q_0 = 1$ мКл, после чего обкладки соединили через резистор $R = 1$ МОм. Найти: а) заряд, прошедший через резистор R за время $\Delta t = 2$ с; б) количество теплоты Q , выделившейся в конденсаторе за это время.

- 2.178. В контуре, схема которого показана на рис. 2.79, оба конденсатора имеют одинаковую емкость C , а сопротивление резистора R .

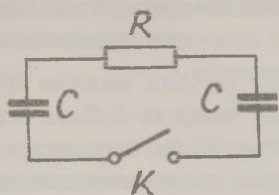


Рис. 2.79.

Один из конденсаторов зарядили до напряжения U_0 и после этого в момент времени $t = 0$ замкнули ключ K . Найти: а) временную зависимость силы тока $i(t)$, возникающего в контуре; б) количество теплоты Q , выделившейся в нем.

Рис. 2.79.

Механизм проводимости в различных условиях

- 2.179. Оценить разность потенциалов между вершиной и хвостом снаряда при торможении его в преграде. Длина снаряда $\ell = 25$ см, скорость его в момент соприкосновения с преградой $v_0 = 1000$ м/с и останавливается он, проникнув вглубь преграды на $d = 5$ см.
- 2.180. Металлический стержень длиной $\ell = 1$ м движется в направлении своей оси с ускорением a , вследствие чего на концах стержня возникает разность потенциалов $U = 1$ мкВ. Чему равно ускорение a ?
- 2.181. Цилиндрическая катушка из медной проволоки содержит $N = 590$ витков диаметром $D = 14$ см. Диаметр проволоки $d = 0,3$ мм, а концы ее соединены с баллистическим гальванометром. Сопротивление цепи образованной катушкой и гальванометром, $R = 130$ Ом. Катушку привели во вращение вокруг ее оси с частотой $\nu = 33$ об/с и затем резко затормозили. Найти показание гальванометра q .
- 2.182. Цилиндрическую катушку привели во вращение вокруг ее оси. Концы обмотки присоединены к баллистическому гальванометру. После резкого торможения катушки гальванометр зарегистрировал заряд $q = 4$ нКл. Длина обмотки катушки $\ell = 1000$ м, сопротивление ее $R = 10$ Ом. Определить линейную скорость катушки v в начале торможения.

- 2.183. По медному проводу сечением 1 мм^2 , находящемуся при температуре 57°C , идет ток силой I А. Предполагая, что электронный газ подчиняется распределению Максвелла, определить средние скорости теплового и направленного движения электронов.
- 2.184. К железному проводу, длина которого $1,5 \text{ м}$, а диаметр $0,6 \text{ мм}$, приложено напряжение 10 В . Определить число электронов, проходящих через поперечное сечение провода в одну секунду, а также среднюю скорость направленного движения электронов. Число свободных электронов считать равным числу атомов.
- 2.185. Предполагая, что на каждый атом меди и вольфрама приходится по одному свободному электрону, найти во сколько раз отличаются концентрации свободных электронов n , времена свободного пробега электронов τ при комнатной температуре и средние скорости u направленного движения электронов в этих металлах при одинаковой плотности тока в них.
- 2.186. По медному проводу длиной $\ell = 1000 \text{ м}$ с поперечным сечением $S = 1 \text{ мм}^2$ идет ток силой $I = 4,5 \text{ А}$. Предположив, что на каждый атом меди приходится по одному свободному электрону, найти время t , в течение которого электрон пройдет из одного конца провода в другой.
- 2.187. Плотность тока в медном проводе $j = I/\text{мм}^2$. В предположении, что на каждый атом меди приходится по одному свободному электрону, найти длину пути s , пройденного электроном при перемещении его на 10 мм вдоль провода.
- 2.188. Вычислить импульс электронов в прямой однопроводной линии постоянного тока длиной 10 км при силе тока равной 50 А .
- 2.189. Считая, что число свободных электронов в меди равно числу атомов, сделать следующие вычисления для медного провода длиной 15 км с поперечным сечением 1 мм^2 , находящегося под напряжением 7 В : а) определить вре-

мя, в течение которого свободный электрон переместится из одного конца провода в другой; б) найти сумму электрических сил, действующих на все свободные электроны.

- 2.190. По медному проводу длиной 2 м с площадью поперечного сечения $0,4 \text{ мм}^2$ идет постоянный ток. В проводе выделяется мощность 0,35 Вт. Найти число электронов, проходящих через поперечное сечение провода за одну секунду, и напряженность электрического поля в проводе.
- 2.191. Найти удельную теплопроводность серебра при температуре 300 К, если известно, что удельное сопротивление его при этой температуре равно $17 \text{ нОм} \cdot \text{м}$.
- 2.192. Зависимость удельной проводимости кремния σ от температуры, определенная экспериментально, представлена на рис. 2.80. Определить ширину запрещенной зоны кремния ΔW .

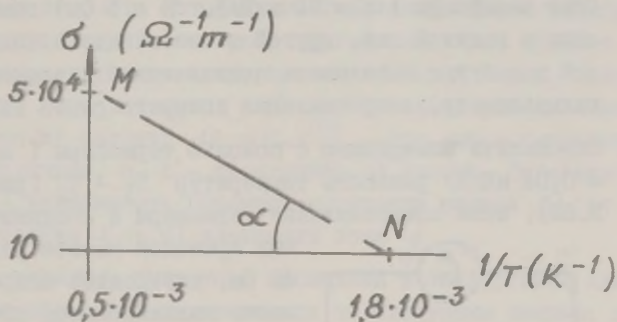


Рис. 2.80.

- 2.193. Удельное сопротивление чистого германия при некоторой температуре равно $0,48 \text{ Ом} \cdot \text{м}$. Определить концентрацию дырок в нем, зная подвижности электронов $0,36 \text{ м}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$ и дырок $0,6 \text{ м}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$.
- 2.194. В цепи, изображенной на рис. 2.81, термопара железо – константан (\mathcal{E}_T), соединенная последовательно с гальванометром (\mathcal{G}), включена между концом А и скользящим контактом С потенциометра, полное

сопротивление которого $R = 10 \text{ кОм}$, питаемого аккумулятором, э.д.с. которого $\mathcal{E} = 2 \text{ В}$. Холодный спай термопары помещен в сосуд Дьюара, наполненный тающим льдом. Чему равна температура горячего спая, если показание гальванометра равно нулю в таком положении скользящего контакта, когда сопротивление левой части AC потенциометра $R_1 = 132,5 \text{ Ом}$. Сопротивлением аккумулятора и соединительных проводов пренебречь. Удельная термо-э.д.с. термопары $\alpha = 50,4 \text{ мкВ/К}$.

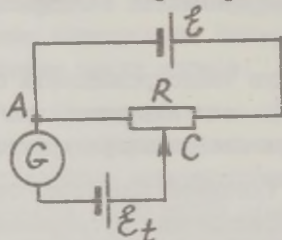
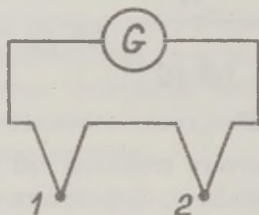


Рис. 2.81.

2.195. Спаи термопары ($\alpha = 92 \text{ мкВ/К}$, $\mathcal{Z} = 5 \text{ Ом}$) помещены один в водяной пар, другой в смесь льда с водой. Какой ток будет показывать подключенный к термопаре гальванометр, сопротивление которого равно 110 Ом ?

2.196. Определить измеряемую с помощью термопары ($\alpha = 0,04 \text{ мВ/К}$) разность температур $T_1 - T_2$ (рис. 2.82), если сопротивление термопары и соединительных проводов вместе равно



40 Ом , внутреннее сопротивление гальванометра 320 Ом , а его показание $0,078 \text{ мА}$.

Рис. 2.82.

2.197. Чему равен теоретически возможный максимальный заряд, проходящий через контур термопары, если спаи термопары находятся при температурах 0°C и 100°C , термоэлектродвижущая сила ее равна $0,76 \text{ мВ}$, а количество теплоты, поглощенной горячим спаем 1 кал ?

- 2.198. В условиях тока насыщения (6,3 мА) на аноде двухэлектродной электронной лампы в течение одного часа выделяется 63 Дж энергии. Предполагая, что энергия эта выделяется только за счет кинетической энергии электронов, найти скорость электронов при подходе к аноду, а также число электронов, исходящих из катода в одну секунду.
- 2.199. В диоде с плоскими электродами в силу наличия пространственного заряда распределение потенциала описывается формулой: $\varphi(x) = x^2 - 2x$, где x — расстояние точки от катода в миллиметрах, а φ — потенциал относительно катода в вольтах. Расстояние между электродами 10 мм. Чему должна быть равна минимальная энергия W_{\min} электрона, испущенного катодом, чтобы он достиг анода? Чему равно максимальное значение ускорения a_{\max} электронов, достигающих анода?
- 2.200. Две параллельные пластины находятся в вакууме. Одна из них является катодом и испускает электроны, начальные скорости которых ничтожно малы. Поток электронов, направленный в сторону другой пластины, создает в межэлектродном пространстве объемный заряд, вследствие чего потенциал φ относительно катода изменяется по закону: $\varphi = ax^{4/3}$, где a — постоянная величина, а x — расстояние от катода. Определить: а) зависимость объемной плотности заряда ρ от расстояния x ; б) плотность тока j .
- 2.201. Определить силу тока насыщения в электронной лампе с вольфрамовой нитью накала по следующим данным: длина нити накала 3 см, диаметр ее 0,1 мм, температура накала 2700 К, постоянная в формуле Ричардсона-Дашмена $6,02 \cdot 10^5 \text{ А}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^2)$, работа выхода 4,53 эВ.
- 2.202. Определить работу выхода электрона из нити накала, если при повышении ее температуры от 2000 К до 2001 К ток насыщения увеличивается на 1 %.
- 2.203. Коэффициент термоэмиссии для чистого вольфрама равен $60 \text{ А}/(\text{см}^2 \cdot \text{К}^2)$, а работа выхода электрона из вольфрама

4,53 эВ. Для вольфрама, обработанного торием, эти величины равны $3 \text{ A}/(\text{см}^2 \cdot \text{К}^2)$ и 2,63 эВ. Найти отношение плотностей токов насыщения в диодах, катоды которых изготовлены из этих материалов, при температуре $T = 1800 \text{ К}$.

- 2.204. При электролизе раствора разлагается 4,77 г медного купороса в час. Найти число ионов меди, нейтрализующихся на катоде в одну секунду. Чему равен заряд каждого иона?
- 2.205. Никелирование металлического предмета длилось 4 часа при плотности тока $0,006 \text{ A}/\text{см}^2$. Определить толщину полученного слоя никеля.
- 2.206. Определить удельный заряд иона меди из данных электролиза водного раствора медного купороса.
- 2.207. Сколько электроэнергии требуется для получения 1 кг электролитической меди, если напряжение на клеммах ванны равно 6 В, а медь двухвалентна?
- 2.208. В растворе медного купороса анодом служит медная пластина, содержащая примеси. Во сколько обходится получение таким способом 1 кг чистой меди, если напряжение на электролитической ванне 6 В?
- 2.209. Одна электролитическая ванна с водным раствором FeCl_2 , другая с раствором FeCl_3 соединены последовательно. Какое количество железа и хлора выделится на электродах в той и другой ванне, если пропускать через них ток силой 1 А в течение одного часа? Сколько килограммов железа и хлора, а также какое число атомов этих веществ выделится в первой ванне?
- 2.210. Через водный раствор серной кислоты пропускают в течение 2 мин постоянный ток силой 0,5 А. Определить массу выделившегося гремучего газа.
- 2.211. Какой объем будет занимать в нормальных условиях водород, полученный при электролизе подкисленной воды, если пропустить через нее 5 амперчасов электричества?

2.2I2. Две электролитические ванны включены в сеть последовательно. Временная зависимость выделения металлов на катоде показана графически на рис. 2.83. Известно,

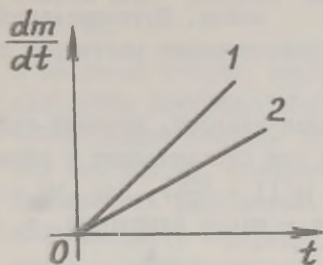


Рис. 2.83.

что в течение 10 мин на катоде выделилось в одной ванне 50 г меди, в другой 150 г неизвестного вещества. Определить электрохимический эквивалент K этого вещества. Что это за вещество? Найти функцию, выражающую зависимость силы тока i (А) от времени t (с).

2.2I3. Определить коэффициент диссоциации водного раствора хлористого калия (KCl) при 18 °С, если концентрация раствора равна 100 кг/м³, а удельное сопротивление его 73,6 мОм·м.

2.2I4. Водный раствор азотной кислоты содержит 0,064 г кислоты в 1 см³ раствора. Коэффициент диссоциации равен 0,824. Определить удельную проводимость этого раствора, если подвижности катиона и аниона равны соответственно $3,26 \cdot 10^{-7}$ м²/(В·с) и $0,64 \cdot 10^{-7}$ м²/(В·с).

2.2I5. При электролизе серной кислоты катион H^+ движется в 5,4 раза быстрее аниона SO_4^{--} . Определить число переноса того и другого иона.

2.2I6. Через водный раствор хлористого калия (KCl) пропустили в течение 10 мин постоянный ток силой 0,43 А. После этого оказалось, что из раствора ушло 0,09964 г хлористого калия. Определить число переноса иона калия.

2.2I7. Электролитическая ванна, содержащая водный раствор медного купороса ($CuSO_4$), соединена последовательно с серебряным вольтметром, в котором при пропускании тока выделился 1 г серебра, за это же время из раствора медного купороса ушло 0,21 г меди. Определить отношение подвижностей катиона Cu^{++} и аниона SO_4^{--} .

- 2.218. Определить электродвижущую силу элемента Даниэля, если цинковый и медный электрод этого элемента помещены в раствор, содержащий в каждом литре 0,1 г-экв Zn^{++} и 0,2 г-экв Cu^{++} ионов. Потенциальный скачок на поверхности соприкосновения растворов считать ничтожно малым.
- 2.219. Доказать, что минимальная энергия, которой должен обладать электрон, чтобы при столкновении с атомом ионизировать его, равна $W_i(1 + \frac{m}{M})$, где W_i - энергия ионизации атома, m - масса электрона, а M - масса атома.
- 2.220. Определить минимальную длину свободного пробега электрона, на котором в электрическом поле напряженностью 1 кВ/см его кинетическая энергия будет достаточной для ионизации атома ртути, потенциал ионизации которого равен 10,5 В. Предположить, что кинетическая энергия электрона расходуется только на ионизацию.
- 2.221. Атомы кислорода ионизируют, бомбардируя их положительными ионами, заряд которых равен элементарному заряду. Какую минимальную разность потенциалов должен пройти ион, чтобы ионизация могла произойти, если масса иона в четыре раза превосходит массу атома кислорода? Энергия ионизации атома кислорода равна 13,56 эВ.
- 2.222. Чему должна быть равна минимальная относительная скорость двух молекул кислорода, чтобы при неупругом столкновении один из них мог быть ионизован? Какой должна быть минимальная скорость электрона, чтобы при столкновении его с молекулой кислорода последняя оказалась ионизованной? Энергия ионизации молекулы кислорода равна 12,5 эВ.
- 2.223. Какую минимальную разность потенциалов должна пройти α -частица, чтобы она была в состоянии дважды ионизовать атом азота? Энергия двойной ионизации атома азота равна 44,05 эВ.

- 2.224. В состоянии ли ион лития с кинетической энергией 60 эВ при соударении с покоящимся атомом гелия ионизовать его? Энергия ионизации атома гелия равна 24,5 эВ.
- 2.225. В закрытом сосуде, наполненном некоторым газом, под действием радиоактивного препарата ионизуется в течение каждой секунды 10^{10} молекул в одном кубическом сантиметре. Вследствие рекомбинации ионов устанавливается равновесие, при котором каждый кубический сантиметр содержит 10^8 пар ионов. Найти коэффициент рекомбинации газа. Во сколько раз изменится проводимость газа в течение одной секунды после удаления радиоактивного препарата?
- 2.226. Через сколько времени после удаления ионизатора число пар ионов в сосуде, наполненном воздухом, уменьшится в два раза и в четыре раза? Начальная концентрация ионов $n_0 = 10^7$ I/см³, а коэффициент рекомбинации их $\delta = 1,67 \cdot 10^{-6}$ см³/с.
- 2.227. Непрерывно работавший ионизатор, создающий в 1 см³ воздуха в течение секунды $3,5 \cdot 10^9$ пар ионов ($\Delta n = 3,5 \cdot 10^9$ I/(см³·с)), выключили. Предполагая, что единственной причиной исчезновения ионов является их рекомбинация (коэффициент рекомбинации $\delta = 1,67 \cdot 10^{-6}$ см³/с), найти время τ , в течение которого концентрация ионов уменьшится в $\eta = 2$ раза.
- 2.228. Найти эффективное сечение рекомбинации σ положительного молекулярного иона с отрицательным ионом в воздухе при комнатной температуре. Коэффициент рекомбинации ионов $\delta = 1,67 \cdot 10^{-6}$ см³/с.
- 2.229. Можно считать, что соударяющиеся ионы всегда рекомбинируют. Как изменится в воздухе число соударений ионов по сравнению с нейтральными молекулами при температуре 17 °С? Диаметр молекул равен 0,3 нм. Коэффициент рекомбинации $1,6 \cdot 10^{-6}$ см³/с.

2.230. Через электрическое поле плоского конденсатора пролетела α -частица, двигаясь параллельно обкладкам конденсатора на одинаковом расстоянии от обеих обкладок, и создала ряд ионов. Определить время, в течение которого эти ионы достигнут пластин, если расстояние между ними 3 см, напряжение, поданное на конденсатор 6 кВ, а подвижности всех ионов одинаковы и равны $2 \text{ см}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$.

2.231. Определить скорости положительных и отрицательных атмосферных ионов на расстоянии 2 см от длинного прямого проводника, заряженного с линейной плотностью заряда $0,1 \text{ нКл/см}$. Подвижности ионов равны соответственно $1,2 \text{ см}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$ и $1,8 \text{ см}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$.

2.232. Газ, находящийся между двумя параллельными пластинами A и B ионизируется только в непосредственной близости пластины A . Расстояние между пластинами d , напряжение между ними $u = U_0 \sin \omega t$. При уменьшении круговой частоты ω гальванометр, включенный последовательно с пластинами, показывает ток только при $\omega < \omega_0$, где ω_0 — некоторая предельная частота. Определить подвижность K ионов, достигающих пластины B .

2.233. Плоский конденсатор, расстояние между обкладками которого $d = 2 \text{ см}$, наполняет водород, под давлением $p = 1 \text{ мм рт.ст.}$ К конденсатору приложено переменное напряжение с частотой $\gamma = 10 \text{ МГц}$. Найти значение напряженности электрического поля, начиная с которого электроны будут колебаться в пространстве между обкладками, не достигая их, если известна средняя частота соударений электронов с атомами водорода $\gamma_0 = 4 \cdot 10^9 \text{ 1/с}$.

2.234. Каждый кубический сантиметр чистого воздуха вблизи поверхности Земли, как показывают измерения, содержит 800 пар ионов. Определить удельное сопротивление воздуха, если подвижности положительных и отрицательных ионов равны соответственно $1,2 \text{ см}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$ и

$$1,8 \text{ см}^2/(\text{В} \cdot \text{с}).$$

- 2.235. В каждом кубическом сантиметре воздуха при ионизации его рентгеновскими лучами возникает в течение одной секунды 10^9 пар ионов, несущих элементарный заряд. Коэффициент рекомбинации их $1,67 \cdot 10^{-6} \text{ см}^3/\text{с}$, а подвижности $k_+ = 1,4 \text{ см}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$ и $k_- = 1,8 \text{ см}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$. Чему равна удельная проводимость воздуха в условиях равновесия?
- 2.236. Удельная проводимость воздуха, ионизируемого рентгеновскими лучами, равна $8 \cdot 10^{-11} \text{ л}/(\text{Ом} \cdot \text{см})$. Возникающие ионы несут один элементарный заряд, а подвижности положительных и отрицательных ионов равны соответственно $1,4 \text{ см}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$ и $1,9 \text{ см}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$. Какое количество пар ионов содержит 1 см^3 воздуха в условиях равновесия?
- 2.237. Один кубический сантиметр воздуха содержит в среднем 800 пар ионов. Подвижности положительных и отрицательных ионов равны соответственно $1,4 \text{ см}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$ и $1,9 \text{ см}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$. Вычислить плотность вертикального электрического тока, если напряженность электрического поля Земли равна 130 В/м . Считать, что ионы несут один элементарный заряд.
- 2.238. Плоский конденсатор, площадь обкладки которого равна 200 см^2 , а расстояние между обкладками 5 см , заполняет воздух, ионизуемый рентгеновскими лучами. Конденсатор заряжен, а последовательно с ним соединен гальванометр, чувствительность которого равна 10 нА/деление . При токе насыщения отрезка гальванометра отклонилась на $19,2$ деления. Определить число пар ионов, возникающих под действием рентгеновских лучей в 1 см^3 воздуха в течение одной секунды.
- 2.239. Плоский конденсатор емкостью 9 пФ соединен через резистор сопротивлением 106 Ом с источником высокого напряжения. Расстояние между обкладками конденсатора 3 см . Воздух в этом промежутке ионизируется рентгеновскими лучами, создающими в кубическом сантиметре

10^4 пар ионов в секунду. Ионы несут один элементарный заряд. Найти напряжение на резисторе в условиях тока насыщения.

2.240. Плоский воздушный конденсатор с расстоянием между пластинами $d = 5$ мм зарядили до напряжения $U = 90$ В и отключили от источника тока. Считая, что в воздухе возникает за секунду в 1 см^3 $\Delta n = 5 \text{ I}/(\text{см}^3 \cdot \text{с})$ пар ионов, а вышеприведенное напряжение достаточно для создания тока насыщения, вычислить время τ , в течение которого напряжение на конденсаторе понизится на 1% .

2.241. В ионизационной камере с плоскими электродами площадь каждого электрода 100 см^2 , расстояние между ними $6,5$ см. Ионизатор создает в каждом кубическом сантиметре 10^9 пар одновалентных ионов в секунду. Подвижности положительных к отрицательным ионов одинаковы и равны $1 \text{ см}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$, а коэффициент их рекомбинации $\delta = 10^{-6} \text{ см}^3/\text{с}$. Чему равна максимальная возможная концентрация ионов? Какой силы ток пойдет через камеру, если к ней приложить напряжение 20 В? Какую часть составит этот ток от тока насыщения? Через сколько времени после выключения ионизатора число ионов вследствие рекомбинации уменьшится вдвое?

2.242. Воздух между двумя параллельными металлическими пластинами, находящимися на расстоянии d друг от друга, облучают рентгеновскими лучами, вследствие чего в каждом кубическом сантиметре его в течение одной секунды возникает одинаковое число положительных и отрицательных ионов. При соединении пластин с источником тока в полученной цепи возникает постоянный ток. Определить, какую долю от общего тока составляет ток отрицательных ионов на расстоянии $d/3$ от анода, если подвижности ионов $K_+ = 1,4 \text{ см}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$, а $K_- = 1,9 \text{ см}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$. Рассмотреть случай, когда ток далек от насыщения, а также случай тока насыщения.

2.243. В условиях предыдущей задачи плотность тока насыщения оказалась $\bar{j}_n = 2,5 \text{ мкА/м}^2$ при $d = 0,5$ м.

Определить равновесную концентрацию ионов n , возникающую в воздухе после отключения источника напряжения. Ионы считать одновалентными, а коэффициент рекомбинации $\delta = 1,6 \cdot 10^{-12} \text{ м}^3/\text{с}$.

- 2.244. В неоне, находящемся под давлением $p = 0,25 \text{ мм рт. ст.}$, создано электрическое поле напряженностью $E = 5 \text{ кВ/м}$. Оценить число актов ионизации α , вызываемых в таких условиях электроном на пути в 1 м . Известно, что при давлении $p_0 = 1 \text{ мм рт.ст.}$ средняя длина свободного пробега электрона в неоне $\lambda_0 = 657 \text{ мкм}$, а потенциал ионизации атома неона $U = 21,5 \text{ В}$.
- 2.245. Пространство между пластинами плоского конденсатора, находящимися на расстоянии d друг от друга, заполнено газом. Одна из пластин испускает в единицу времени ν_0 электронов, которые перемещаясь в электрическом поле, ионизуют атомы газа. Один электрон на пути в единицу длины создает α новых электронов (и ионов). Найти плотность электронного тока j у поверхности противоположной пластины в предположении, что положительные ионы не создают вторичных электронов.
- 2.246. При ионизации газа между пластинами плоского конденсатора, расположенными на расстоянии d друг от друга, ультрафиолетовыми лучами в единице объема газа создается за единицу времени Δn электронов. Каждый электрон, перемещаясь в электрическом поле конденсатора, создает на пути в единицу длины α новых электронов (и ионов). Пренебрегая ударной ионизацией ионов, найти плотность электронного тока j у поверхности пластины с более высоким потенциалом.
- 2.247. Электрическая дуга горит в парах ртути между двумя параллельными плоскими электродами. Оценить расстояние, на котором происходит прикатодное падение потенциала $U_k = 10 \text{ В}$, если плотность тока в дуге $j = 100 \text{ кА/см}^2$. Считать, что градиент потенциала в начале анодного столба практически равен нулю.

- 2.248. Найти напряженность электрического поля пространственных зарядов электронной лавины в предположении, что ионы расположены в шаре радиуса 2_0 , а движение их диффузно. При каком значении напряженности электрического поля E пространственных зарядов кончится развитие лавины?
- 2.249. Найти зависимость потенциала φ точечного заряда q от расстояния z , если заряд этот находится в изотермической плазме. Предполагается, что электрическое поле слабо и распределение заряженных частиц подчиняется закону Больцмана.

3. ЭЛЕКТРОМАГНИТИЗМ

Магнитное поле электрического тока

- 3.1. По двум длинным тонким параллельным проводам, находящимся на расстоянии 10 см друг от друга, идут противоположные по направлению токи силой 50 А каждый. Определить индукцию магнитного поля в точках, находящихся на расстоянии 10 см от обоих проводов.
- 3.2. По двум длинным тонким параллельным проводам, расстояние между которыми $d = 0,3$ м, идут противоположные по направлению токи силой $I_1 = I_2 = I = 10$ А. Найти индукцию B магнитного поля в точках, находящихся от первого провода на расстоянии $r_1 = 0,15$ м, а от второго на расстоянии $r_2 = 0,2$ м.
- 3.3. На рис. 3.1 изображено пересечение трех параллельных проводов, перпендикулярных к плоскости рисунка, с этой плоскостью. Расстояния $AB = BC = 5$ см, токи $I_1 = I_2 = I$, а $I_3 = 2I$. Найти на прямой AC точку, в которой результирующая индукция магнитного поля равна нулю.

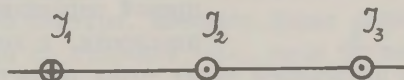
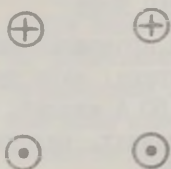


Рис. 3.1.

- 3.4. Три длинных прямых параллельных провода лежат в одной плоскости. Расстояния между соседними проводами одинаковы и равны 3 см. Силы токов в двух крайних проводах одинаковы: $I_1 = I_3$, а в промежуточном $I_2 = I_1 + I_3$. Все токи одного направления. В каком месте индукция магнитного поля, создаваемого этими токами, равна нулю?
- 3.5. Три длинных прямых провода расположены параллельно друг другу в одной плоскости так, что расстояния между соседними проводами равны 3 см. Направления токов I_1 и

\mathcal{I}_3 , идущих по двум крайним проводам, противоположны направлению тока \mathcal{I}_2 в среднем проводе. Значения сил токов $\mathcal{I}_1 = \mathcal{I}_3$, а $\mathcal{I}_2 = \mathcal{I}_1 + \mathcal{I}_3$. В каком месте индукция магнитного поля, создаваемого этими токами, равна нулю?

- 3.6. Точки пересечения четырех длинных прямых параллельных проводов с перпендикулярной им плоскостью расположены

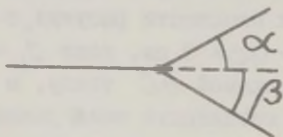


в вершинах квадрата со стороной $a = 20$ см. Силы токов в проводах одинаковы и равны $\mathcal{I} = 20$ А, а направления их показаны на рис. 3.2. Найти индукцию магнитного поля B в центре квадрата.

Рис. 3.2.

- 3.7. По длинному вертикальному проводу в направлении сверху вниз идет ток силой 8 А. Горизонтальная составляющая индукции магнитного поля Земли равна 0,2 Тс. В какой точке магнитное поле направлено вертикально вверх?

- 3.8. На рис. 3.3. изображено разветвление токов. Все провода бесконечно длинные прямые



и лежат в одной плоскости. В обеих ветвях сила тока \mathcal{I} . Определить индукцию B магнитного поля этих токов на прямой перпендикулярной к плоскости, в которой лежат

Рис. 3.3.

провода, и проходящей через точку разветвления их. Задачу решить для двух случаев, когда а) $\alpha = \beta$ и б) $\alpha \neq \beta$.

- 3.9. Бесконечно длинный прямой провод с током \mathcal{I} согнут в его середине под прямым углом. Определить индукцию B магнитного поля на прямой перпендикулярной к плоскости, в которой лежит провод, и проходящей через вершину образуемого им угла.

- 3.10. По длинному тонкому проводу, образующему прямой угол, идет ток силой $\mathcal{I} = 20$ А. Найти индукцию B магнитного поля в точке, лежащей на биссектрисе этого угла на расстоянии $\mathcal{X} = 10$ см от его вершины.

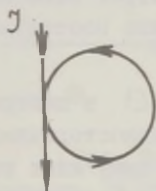
- 3.11. Клеммы источника тока соединили с противоположными вершинами замкнутого проволочного контура в форме квадрата. Чему равна магнитная индукция B в центре этого квадрата?
- 3.12. Провод образует квадрат со стороной $a = 20$ см. По нему идет ток силой $I = 6$ А. Найти индукцию магнитного поля B в центре квадрата.
- 3.13. Определить индукцию магнитного поля B в центре проволочного контура в виде прямоугольника со сторонами a и b , если по нему идет ток силой I .
- 3.14. На деревянный цилиндр (D, h) намотано четыре витка изолированной проволоки. Плоскости витков образуют между собой углы 45° . Каждый виток представляет собой прямоугольник со сторонами D и h . Обмотка начинается и кончается в центре одного из оснований и по ней идет ток силой I . Найти индукцию B магнитного поля в середине оси цилиндра.
- 3.15. Контур в виде равностороннего треугольника изготовлен из однородной проволоки. Чему будет равна индукция магнитного поля B в центре этого контура, если две его вершины соединить с клеммами источника постоянного тока?
- 3.16. Чему равна индукция магнитного поля B в центре проволочного контура, имеющего форму равностороннего треугольника со стороной a , если по нему идет ток силой I .
- 3.17. К точкам A и B проволочного кольца, являющимся концами одного его диаметра, приложено постоянное напряжение. Определить индукцию B магнитного поля в произвольной точке C этого диаметра.
- 3.18. Две точки проволочного кольца соединены с клеммами источника постоянного тока, находящегося далеко от этого кольца, радиальными проводами. Один провод соединен с кольцом жестко, другой может перемещаться по кольцу. Как будет зависеть от положения этого скользящего контакта индукция магнитного поля B в центре кольца?

3.19. Из куска проволоки изготовили круглый виток радиуса R и соединили концы его с клеммами источника постоянного тока. Как изменится индукция магнитного поля в центре кольца, если из этого же куска проволоки изготовить двойной виток радиуса $\frac{R}{2}$ и соединить концы с клеммами того же источника тока?

3.20. Два проволочных витка радиуса $R = 4$ см имеют общую ось и находятся друг от друга на расстоянии $2a = 0,1$ м. Через оба витка пропускают ток одинаковой силы $I = 2$ А и одинакового направления. Определить индукцию магнитного поля B в центре каждого витка и в середине отрезка, соединяющего центры.

3.21. Плоскость проволочного витка радиуса 20 см образует с плоскостью магнитного меридиана Земли угол 40° . В центре витка находится магнитная стрелка, могущая вращаться вокруг вертикальной оси. На какой угол повернется стрелка, если включить в виток ток силой 6,4 А? Горизонтальную составляющую индукции магнитного поля Земли принять равной 0,2 Гс.

3.22.



Длинный прямой провод образует в своей средней части кольцо радиуса 8 см (см. рис. 3.4). Найти значение силы тока, идущего по этому проводу, если индукция магнитного поля в центре кольца равна 0,1 Гс.

Рис. 3.4.

3.23. Найти индукцию магнитного поля B в центре кривизны O изогнутого участка проводников, изображенных на рис. 3.5. Известна сила тока I в проводнике и радиус кривизны R изогнутого участка. Прямые участки проводника считать бесконечно длинными.

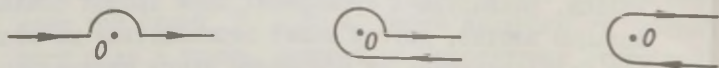
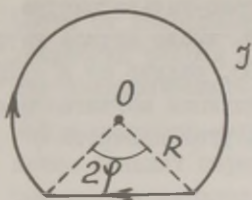


Рис. 3.5.

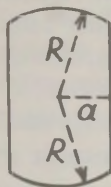
3.24.



Сила тока, идущего по контуру, изображенному на рис. 3.6. $I = 5$ А. Радиус кривого участка контура $R = 120$ мм, угол $2\varphi = \frac{\pi}{2}$. Найти индукцию магнитного поля B в точке O .

Рис. 3.6.

3.25.



Контур, изображенный на рис. 3.7, состоит из двух дуг радиуса R и двух прямолинейных участков, расстояние между которыми $2a$. Определить индукцию магнитного поля B в центре контура, если по нему идет ток силой I .

Рис. 3.7.

- 3.26. На деревянный шар радиуса R намотана тонкая изолированная проволока так, что все витки образуют периметры осевых сечений и пересекаются между собой в концах одного и того же диаметра. Все шесть витков расположены так, что плоскости соседних витков образуют между собой углы в 30° . Определить индукцию магнитного поля B в центре шара, если по проволоке идет ток силой I .
- 3.27. Тангенс-гальванометр представляет собой вертикально расположенную плоскую катушку большого диаметра (~ 30 см), в центре которой находится магнитная стрелка с вертикальной осью вращения. В начале измерений катушка устанавливается так, чтобы ее плоскость совпала с плоскостью магнитного меридиана Земли. Вывести формулу для вычисления силы измеряемого тока, если известны: радиус катушки R , число ее витков N , горизонтальная составляющая индукции магнитного поля Земли B_2 и угол поворота магнитной стрелки α .
- 3.28. Конденсатор емкостью $C = 1$ мкФ с помощью механического переключателя соединяется $n = 100$ раз в секунду с клеммами источника напряжения и с такой же частотой

разряжается через обмотку тангенс-гальванометра. Напряжение источника $\mathcal{U} = 120$ В, число витков катушки тангенс-гальванометра $N = 100$, радиус ее $R = 15,7$ см. Горизонтальная составляющая индукции магнитного поля Земли $B_2 = 0,2$ Гс. Определить угол поворота φ магнитной стрелки гальванометра.

3.29. Цепь состоит из аккумуляторной батареи и последовательно соединенных реостата сопротивлением 10 Ом и тангенс-гальванометра. Магнитная стрелка гальванометра повернута на угол 60° . После увеличения сопротивления реостата на 10 Ом угол поворота магнитной стрелки уменьшился до 45° . Определить сопротивление тангенс-гальванометра, считая внутреннее сопротивление батареи, а также сопротивление соединительных проводов пренебрежимо малыми.

3.30. Два проволочных витка с радиусами R_1 и R_2 имеют общий центр. Плоскости витков вертикальны и образуют между собой прямой угол, причем плоскость первого витка совпадает с плоскостью магнитного меридиана Земли. В центре витков находится короткая магнитная стрелка с вертикальной осью вращения. По виткам идут токи силой I_1 и I_2 . Угол поворота стрелки при этом равен φ_1 . После изменения направления тока I_2 на обратное угол поворота стрелки стал равным φ_2 . Определить значение силы тока I_2 , а также горизонтальную составляющую индукции магнитного поля Земли B_2 .

3.31. Найти индукцию B магнитного поля бесконечно большой проводящей плоскости, по которой идет поверхностный ток с линейной плотностью \vec{j} , одинаковой во всех ее точках.

3.32. На заводе, изготавлиющем полиэтиленовую пленку, пленка в виде широкой плоской ленты, перемещается со скоростью $v = 15$ м/с. В процессе обработки, в основном за счет трения, пленка заряжается равномерно с поверхностной плотностью заряда σ . Оценить возможное максимальное значение σ и соответствующее ей значение индукции магнитного поля B в непосредственной бли-

зости от поверхности пленки, если известно, что электрический разряд в воздухе начинается при напряженности электрического поля $E_0 = 30$ кВ/см.

- 3.33. Найти индукцию магнитного поля B двух тонких бесконечно больших параллельных плоских пластин, по которым идут поверхностные токи плотностью \vec{j} и $-\vec{j}$, причем плотность тока во всех точках соответствующих пластин одинакова.
- 3.34. Ток силой I идет по тонкостенному прямому проводу, сечение которого имеет форму полукольца радиуса R . Найти индукцию магнитного поля в центре кривизны полукольца.
- 3.35. По прямому медному проводу, длина которого 3 м, а радиус поперечного сечения 2 см, идет ток силой 50 А. Найти индукцию магнитного поля вблизи середины провода на расстоянии 0,5 см и 5 см от оси провода в предположении, что относительная магнитная проницаемость вещества всюду одинакова и равна единице.
- 3.36. По длинной трубе, внутренний и внешний радиусы которой равны соответственно R_1 и R_2 , идет ток силой I . Предполагая, что ток распределен равномерно по поперечному сечению трубы, найти зависимость индукции магнитного поля B от расстояния z до оси трубы. Относительную магнитную проницаемость считать всюду равной единице.
- 3.37. Радиус жилы прямого длинного коаксиального кабеля равен 1 мм, радиус оболочки 10 мм. Токи, идущие по жиле и оболочке, одинаковы по силе и равны 0,5 А, но обратны по направлению. Определить индукцию B магнитного поля на расстояниях 5 мм и 15 мм от оси кабеля.
- 3.38. По длинному прямому проводу с круговым сечением идет ток силой $I = 10$ А. Найти магнитный поток Φ через одну половину осевого сечения провода в расчете на участок его длиной в 1 м. Относительную магнитную проницаемость вещества провода принять равной единице.

- 3.39. В коаксиальном прямом кабеле длиной $\ell = 10$ м ток силой $\mathcal{I} = 5$ А идет по внутренней жиле радиуса $R_1 = 2$ мм в одном направлении, а возвращается по его тонкостенной оболочке радиуса $R_2 = 10$ мм. Вычислить магнитный поток Φ через одну половину осевого сечения диэлектрика.
- 3.40. Внутри длинного провода с круговым сечением имеется цилиндрическая полость, ось которой параллельна оси провода и смещена от последней на \vec{a} . По проводу идет постоянный ток плотности \vec{j} . Найти индукцию магнитного поля \vec{B} внутри полости. Рассмотреть частный случай, когда $a = 0$.
- 3.41. По длинному прямому цилиндрическому проводу радиуса R идет ток плотности \vec{j} . Найти вектор индукции магнитного поля \vec{B} этого тока в точке, положение которой относительно оси провода определяется радиус-вектором \vec{r} , перпендикулярным оси цилиндра. Относительную магнитную проницаемость среды считать всюду равной единице.
- 3.42. Длинный прямой соленоид намотан на картонную трубку. Плотность витков соленоида 10 I/см, сила тока, идущего по нему, 5 А. Найти индукцию B магнитного поля в середине соленоида и в центре одного из его концов.
- 3.43. Найти магнитный поток Φ через один из концов длинного тонкого соленоида, если известна плотность витков соленоида n , его поперечное сечение S и сила протекающего по нему тока \mathcal{I} .
- 3.44. Чему должно быть равно отношение среднего диаметра соленоида d к его длине ℓ , чтобы при вычислении индукции магнитного поля его можно было воспользоваться формулой для бесконечно длинного соленоида с такой же плотностью витков и ошибка при этом не превысила $\delta = 1\%$?
- 3.45. Дан длинный соленоид, радиус которого R и плотность витков n , по которому идет постоянный ток силой \mathcal{I} . Найти: а) индукцию магнитного поля B на оси со-

леноида, как функцию от расстояния x до одного из его концов. Полученный результат представить графически, как функцию от x/R ; б) расстояние x_0 от конца соленоида до точки, в которой значение индукции магнитного поля отличается от ее значения в середине соленоида на $\delta = 1\%$.

- 3.46. Соленоид диаметром $d = 10$ см намотан из тонкой проволоки так, что витки прилегают плотно друг к другу. Найти длину l соленоида, при которой магнитная индукция в его середине отличалась бы не более, чем на $\delta = 0,5\%$, от ее значения, вычисленного для бесконечно длинного соленоида. Силу тока принять в обоих случаях одинаковой.
- 3.47. Заряд распределен равномерно на поверхности длинного цилиндра, изготовленного из диэлектрика, с линейной плотностью заряда $\tau = 10$ мКл/м. Цилиндр привели во вращение вокруг его оси с частотой $\nu = 100$ об/с. Найти индукцию возникающего магнитного поля B в середине цилиндра и в центре одного из его концов.
- 3.48. Из тонкой проволоки изготовлена плоская спираль, витки которой плотно прилегают друг к другу. Число витков спирали N , внутренний и внешний радиусы ее R_1 и R_2 . По спирали идет ток силой I . Найти индукцию B магнитного поля в центре спирали, а также ее магнитный момент p_m .
- 3.49. На одной стороне плоского диска радиуса R , изготовленного из диэлектрика, распределен равномерно заряд, поверхностная плотность которого σ . Диск приведен во вращение вокруг его оси с угловой скоростью ω . Найти индукцию магнитного поля B в центре диска, а также магнитный момент диска p_m .
- 3.50. По тороидальной обмотке, средний диаметр которой 40 см, радиус витка 5 см, а число витков 1000, идет ток силой 5 А. Найти индукцию магнитного поля B в точках плоскости симметрии тороида на расстояниях 5 см, 20 см и 23 см от его центра.

- 3.51. Из тонкой проволоки изготовлена однослойная тороидальная катушка с прямоугольным сечением площадью 15 см^2 . Внутренний и внешний радиус катушки равны 5 см и 8 см, а число витков ее 500. По катушке идет ток силой 2,4 А. Определить минимальное и максимальное значение индукции магнитного поля внутри катушки, а также полный магнитный поток Φ , пронизывающий катушку.
- 3.52. Сердечником однослойной катушки служит тонкое деревянное полукольцо с круглым сечением, диаметр которого $d = 5 \text{ см}$. Определить магнитный момент p_m такой полукольцевой катушки, если число витков тонкой проволоки, намотанной на этот сердечник, $N = 500$, а сила проходящего по ней тока $I = 0,8 \text{ А}$.
- 3.53. Заряд q распределен равномерно в шаре, радиус которого R , а масса m . Шар вращается равномерно с угловой скоростью ω вокруг оси, проходящей через его центр. Найти магнитный момент p_m , отвечающий такому движению, а также отношение магнитного момента шара к моменту импульса его (p_m / L).

Сила, действующая на проводник с током в магнитном поле

- 3.54. Прямой проводник длиной 5 см, по которому идет ток силой 30 А, находится в однородном магнитном поле, индукция которого 100 Гс. Определить угол между направлениями тока и магнитного поля, если на этот проводник действует сила равная 1,5 гс.
- 3.55. Определить силу, действующую между троллейбусными проводами длиной 1,5 км, если расстояние между ними равно 0,5 м и по обоим проводам идет ток силой 200 А.
- 3.56. Квадратная рамка со стороной в 10 см изготовлена из жесткой проволоки. Сопротивление каждой стороны рамки равно 1 Ом. Диагональ рамки изготовлена из той же самой проволоки. Оставшиеся две свободные вершины квадрата соединены с источником постоянного тока, напряжение на клеммах которого равно 2 В. Рамка помещена

в однородное магнитное поле перпендикулярное плоскости рамки, индукция которого равна 5000 Гс. Определить силу, действующую на рамку. Чему будет равна сила, если с источником тока соединить вершины квадрата, соединенные между собой диагональю?

- 3.57. По длинной горизонтальной шине идет ток силой I_1 . В одной вертикальной плоскости с шиной расположен тоже горизонтально медный провод длиной ℓ с током I_2 . Чему должно быть равно расстояние между проводом и шиной, чтобы магнитное действие уравнило силу тяжести P провода?
- 3.58. К длинной горизонтальной шине с помощью двух одинаковых пружин жесткости K подвешен горизонтальный проводник длиной ℓ на расстоянии l от шины. Каким будет расстояние K между шиной и проводником, если по шине пойдет ток силой I_1 , а по проводнику — I_2 ? Токи могут быть как одного, так и противоположных направлений. Проводник может перемещаться только в вертикальной плоскости.
- 3.59. В однородном горизонтальном магнитном поле, индукция которого $B = 0,01$ Тл, подвешен алюминиевый стержень длиной $\ell = 1$ м, с поперечным сечением $S = 0,1$ см², могущий вращаться вокруг точки закрепления O . Нижний конец стержня погружен в ртутную ванну (см. рис. 3.8). Определить равновесное положение стержня (угол φ), если по нему идет ток силой $I = 10$ А.

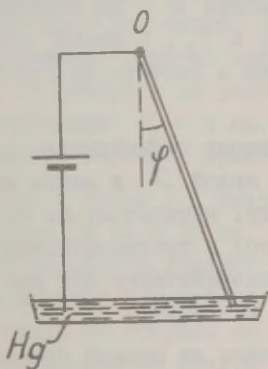


Рис. 3.8.

- 3.60. Нижний край медного диска радиуса $R = 5$ см с горизонтальной осью вращения касается поверхности ртути в контактной ванночке. Со ртутью соединена также одна из клемм источника тока. Другая клемма источника

соединена через скользящий контакт с металлической осью вращения диска. Диск находится в однородном магнитном поле с индукцией $B = 1000$ Гс, перпендикулярном плоскости диска, и по нему идет ток силой $I = 5$ А. Определить момент вращения, действующий на диск.

- 3.61. Из тонкой проволоки изготовлено полукольцо радиуса R и по нему идет ток силой I (рис. 3.9). Найти индукцию B магнитного поля в центре кривизны этого полукольца. Какая сила F будет действовать на полукольцо, если поместить его в однородное магнитное поле с индукцией B , направление которого перпендикулярно плоскости полукольца? Предполагается, что подводящие ток провода находятся вне магнитного поля.

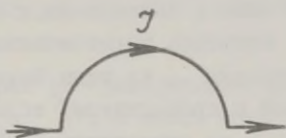


Рис. 3.9.

- 3.62. Тонкая прямая проволока расположена параллельно длинной тонкой прямой жестяной полоске в одной плоскости с ней. Проволока находится на расстоянии a от ближнего края полоски. Ширина полоски b . По полоске и проволоке идут токи силой I_1 и I_2 . С какой силой F взаимодействуют эти проводники в расчете на участок единичной длины?
- 3.63. По длинному прямому тонкостенному полуцилиндру с радиусом кривизны R идет ток силой I в одном направлении, а по тонкому проводу, натянутому по осевой линии его, такой же по силе ток в противоположном направлении. С какой силой взаимодействуют эти два проводника в расчете на единицу их длины?
- 3.64. Однослойная катушка изготовлена из медной проволоки с диаметром сечения $d = 0,1$ мм. Радиус витков катушки $R = 30$ мм, сила тока, идущего по ней, $I = 10$ мА. Катушка помещена в магнитное поле так, что ось ее совпадает с направлением поля. При каком максимальном значении индукции магнитного поля катушка еще не будет разорвана под действием механического напряжения,

возникающего в проволоке? Прочность меди на разрыв $\sigma = 0,3 \text{ ГПа}$.

- 3.65. По тонкостенной трубке радиуса R идет ток силой I . Определить давление на стенки трубки, обусловленное наличием тока (p).
- 3.66. Токи, идущие по двум большим тонким параллельным пластинам, создают между этими пластинами магнитное поле индукции B . Вне пластин поле отсутствует. Найти магнитную силу взаимодействия пластин, рассчитанную на единицу их площади (p).
- 3.67. В магнитном поле бесконечно длинного прямого провода находится тоже прямой проводничок длиной $\ell = 4 \text{ см}$. Оба проводника расположены в одной плоскости перпендикулярно друг другу, причем расстояние между бесконечно длинным проводом и ближним концом короткого $z_0 = 2 \text{ см}$. По длинному проводу идет ток $I_1 = 100 \text{ А}$, по короткому $I_2 = 10 \text{ А}$. Определить силу F , действующую на короткий проводничок.
- 3.68. Бесконечно длинный прямой провод, с током $I_1 = 15 \text{ А}$ и короткий прямой провод длиной $\ell = 6 \text{ см}$, по которому идет ток силой $I_2 = 20 \text{ А}$, расположены в одной плоскости. Один из концов короткого провода находится от длинного на расстоянии $z_1 = 5 \text{ см}$, другой на расстоянии $z_2 = 9 \text{ см}$. Определить силу F , действующую на короткий провод.
- 3.69. Рамка с током $I \text{ А}$ имеет форму прямоугольника со сторонами 10 см и 20 см . В одной плоскости с этой рамкой находится длинный прямой провод с током 5 А , параллельный длинной стороне рамки и находящийся от ближней ее стороны на расстоянии 5 см . Найти силы, действующие на каждую из сторон рамки, а также результирующую силу, действующую на рамку.
- 3.70. В одной и той же плоскости расположены длинный прямой провод с током I_1 и прямоугольный контур с током I_2 , стороны которого a и b . Стороны a параллельны прямому проводу и ближняя из них находится

на расстоянии l от него. Найти: а) силу F , действующую на контур; б) вращающий момент M , действующий на контур; в) магнитный поток Φ через контур, создаваемый прямым током.

- 3.71. Из двух проводников длиной 20 см каждый изготовлены два контура, один в виде окружности, другой квадратный. Через оба контура пропускают ток силой 2 А. Определить вращающие моменты M , которые будут действовать на эти контуры, если поместить их в однородное магнитное поле с индукцией 1000 Гс так, что плоскости контуров образуют с направлением поля угол 45° .
- 3.72. Медный провод с поперечным сечением $S = 2 \text{ мм}^2$ согнут так, что образует три стороны квадрата. Полученный каркас может вращаться вокруг горизонтальной оси, совпадающей с четвертой (отсутствующей) стороной квадрата. На какой угол α повернется каркас, если через него пропускать ток силой $I = 10 \text{ А}$ и в месте его нахождения создать однородное вертикальное магнитное поле с индукцией $B = 9,3 \text{ мТл}$?
- 3.73. Катушка гальванометра, состоящая из 400 витков тонкой проволоки, имеющих форму прямоугольника со сторонами 3 см и 2 см, подвешена на нити в однородном горизонтальном магнитном поле с индукцией 0,1 Тл. По катушке идет ток силой 0,1 мкА. Определить вращающий момент, действующий на катушку, если плоскость ее а) параллельна магнитному полю; б) образует с направлением поля угол 60° .
- 3.74. Обмотка катушки зеркального гальванометра состоит из 100 витков. Размеры катушки 40 мм x 30 мм, подвешена она на нити, модуль кручения которой равен 0,001 гс·см/градус. Катушка расположена между полюсами постоянного магнита, форма которых такова, что магнитное поле можно считать радиальным с осью вращения катушки, а индукцию его равной 1000 Гс. На какой угол повернется катушка, если через нее пропускать ток силой 0,1 мА? При каком значении силы тока смещение

зайчика на шкале, отстоящей от зеркала гальванометра на расстоянии 1 м, будет равно 1 мм ?

- 3.75. Катушка гальванометра, содержащая $N = 600$ витков, подвешена на нити длиной $\ell = 10$ см, диаметром $d = 0,1$ мм, изготовленной из материала, модуль сдвига которого $G = 6 \text{ ГН/м}^2$. Поперечное сечение катушки $S = 4,2 \text{ см}^2$ и расположена она в однородном магнитном поле с индукцией $B = 0,2$ Тл. При пропускании тока через катушку, она повернулась на угол $\alpha = 0,5^\circ$. Чему равна сила I пропускаемого тока?
- 3.76. В однородное магнитное поле, индукция которого равна $0,1$ Тл, помещена магнитная стрелка с магнитным моментом $0,2 \text{ Ам}^2$. Чему равен вращающий момент, действующий на стрелку, если ось вращения ее образует с направлением поля угол 30° ?
- 3.77. Прямой постоянный магнит, магнитный момент которого $p_m = 1200 \text{ СТМ}_p$, висит на тонкой нити, закрепленной на одном из концов магнита. Длина магнита $\ell = 8$ см, масса его $m = 10$ г и расположен он в горизонтальном магнитном поле с индукцией $B = 50$ Гс. Какой угол φ образует магнит с вертикалью?
- 3.78. Квадратная катушка со стороной a , содержащая N витков, может вращаться вокруг вертикальной оси, проходящей через середины двух противоположных ее сторон, расположенных горизонтально. Катушка находится в горизонтальном магнитном поле, индукция которого B . По катушке пропускают ток силой i . Определить направление тока при устойчивом равновесии катушки. Определить период колебаний (малой амплитуды) катушки около этого положения равновесия, если момент инерции ее J .
- 3.79. Небольшая вертикальная легкая рамка с током может вращаться вокруг вертикальной оси симметрии. В магнитном поле Земли период колебаний рамки T_1 , внутри горизонтального соленоида с током T_2 , причем в последнем случае магнитным полем Земли можно пренебречь.

Индукция магнитного поля Земли B_z , угол магнитного наклона α . Чему равна индукция магнитного поля B_c внутри соленоида? Затуханием колебаний пренебречь.

3.80. Период колебаний (малой амплитуды) горизонтальной магнитной стрелки компаса в магнитном поле Земли равен 0,7 с. Внутри длинного горизонтального соленоида с током эта же стрелка колеблется с периодом 0,1 с. Затухание колебаний в обоих случаях ничтожно. Найти горизонтальную составляющую индукции магнитного поля Земли, если в соленоиде индукция магнитного поля равна 8,8 Тс.

3.81. В середине длинного горизонтального соленоида на спиральной пружине подвешена катушка, могущая вращаться вокруг оси, перпендикулярной оси соленоида. Плотность витков соленоида $n = 5000 \text{ л/м}$, число витков катушки $N = 50$, площадь витка $S = 4 \text{ см}^2$. В отсутствии тока плоскость витков катушки параллельна оси соленоида. При прохождении тока через катушку и соединенный последовательно с ним соленоид катушка повернулась на угол $\alpha = 60^\circ$. Определить силу тока, зная, что модуль кручения пружины $\kappa = 6 \cdot 10^{-5} \text{ Н} \cdot \text{м/рад}$ (модуль кручения численно равен моменту вращения, под действием которого пружина закручивается на угол $\alpha = 1 \text{ рад}$).

3.82. В середине длинного горизонтального соленоида с плотностью витков n находится короткая катушка, содержащая N витков, с площадью сечения S (рис. 3.10), ось которой вертикальна. Катушка прикреплена к одному из плеч коромысла весов, которые в отсутствии тока находятся в равновесии. При пропускании через катушку и соленоид одинакового тока силой I равно-

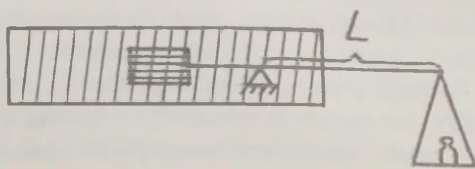


Рис. 3.10.

весие весов нарушается и для его восстановления на чашу весов, прикрепленную к другому плечу коромысла, длиной L , надо положить груз P . Определить силу тока J . Как будет влиять на величину, необходимого для уравнивания весов груза, заметное уменьшение длины соленоида? Можно ли описанной установкой пользоваться для измерения силы переменного тока? Пригодна ли она в качестве ваттметра?

- 3.83. По горизонтальному кольцу радиуса $R = 4,5$ см и массы $m = 10$ г, идет ток силой $J = 5$ А. Находясь в магнитном поле, индукция B которого изменяется с высотой h (в вертикальном направлении), кольцо неподвижно без всякой опоры или подвеса. Определить градиент индукции магнитного поля в месте нахождения кольца.
- 3.84. Два одинаковых круговых тока силой $J = 50$ А и радиуса $R = 2$ см, имеют общую ось и находятся друг от друга на расстоянии $L_0 = 10$ см. С какой силой F один из токов действует на другой?

Работа перемещения проводника с током в магнитном поле

- 3.85. Прямой проводник длиной 10 см, по которому идет ток силой 100 А, расположен в магнитном поле с индукцией 1000 Гс перпендикулярно его силовым линиям. Какую работу надо совершить, чтобы переместить его параллельно самому себе на 5 см перпендикулярно полю?
- 3.86. Расстояние между двумя длинными параллельными проводами равно 10 см. По проводам идут токи одного направления силой 10 А и 30 А. Какую работу надо совершить на каждый метр длины проводов, чтобы удалить их друг от друга на расстояние 20 см?
- 3.87. Отрезок прямого провода длиной 1 м перемещается в магнитном поле с индукцией 1 Тл равномерно со скоростью 10 см/с, перпендикулярной и проводу и направлению магнитного поля. Какой силы ток должен идти по проводу,

чтобы в течение 4 с магнитное поле совершило работу в 10 Дж?

- 3.88. Виток провода площадью 100 см^2 , по которому идет ток силой 3 А, помещен в однородное магнитное поле с индукцией 0,12 Тл так, что плоскость его перпендикулярна направлению поля. Каким должно быть направление тока в витке, чтобы при повороте витка вокруг его диаметра на 180° работа сил поля была положительна? Чему равна эта работа?
- 3.89. Проволочный контур в виде квадрата со стороной в 10 см, по которому идет ток силой 6 А, висит свободно в горизонтальном однородном магнитном поле, индукция которого 10 000 Тл. Какую работу надо совершить, чтобы повернуть этот контур на 180° вокруг оси, перпендикулярной направлению поля? Силу тока при повороте считать неизменной.
- 3.90. Проволочный виток диаметром 10 см, по которому идет ток силой 20 А, висит свободно в однородном магнитном поле с индукцией 0,016 Тл. Какую работу надо совершить, чтобы а) удалить виток из магнитного поля; б) повернуть виток вокруг его диаметра на угол $\frac{\pi}{2}$ и π ?
- 3.91. Плоская катушка, состоящая из 10 витков в форме квадрата со стороной 4 см, помещена в однородное магнитное поле, индукция которого равна 8000 Тл. Плоскость катушки образует с направлением поля угол 30° . Найти работу сил магнитного поля при повороте катушки в положение равновесия, если через катушку проходит ток силой 5 А.
- 3.92. Исходя из условий задачи 3.69, найти работу, совершаемую а) при удалении рамки от провода так, что перемещается она, оставаясь в своей плоскости, параллельно самой себе и проделывает перпендикулярно проводу путь равный a ; б) при повороте рамки на 180° вокруг дальней по отношению к прямому проводу ее стороны b .

- 3.93. В одной плоскости с длинным прямым проводом находится прямоугольная проволочная рамка, две стороны которой, имеющие длину 3 см, параллельны длинному проводу и находятся от него на расстоянии 4 см и 6 см. По прямому проводу идет ток силой 100 А, а сила тока в рамке равна 3 А. Какую работу надо совершить, чтобы переместить рамку в ее плоскости параллельно самой себе на расстояние 8 см по перпендикуляру к прямому проводу?
- 3.94. Диск, описанный в задаче 3.60, вращается с частотой $\nu = 2$ об/с. Какова мощность P такого мотора?
- 3.95. Квадратная рамка, по которой идет ток силой $I = 2$ А, расположена в однородном магнитном поле, индукция которого $B = 1$ Тл, так, что ее плоскость перпендикулярна полю. К рамке прилагается пара сил, момент которой $M = 0,1$ кгс·м в дальнейшем остается постоянным и направленным перпендикулярно к полю. Какую угловую скорость ω получит рамка, повернувшись на 180° ? Известно, что площадь рамки $S = 1000$ см², момент инерции ее $J = 100$ кг·см², а ток в процессе поворота рамки поддерживается постоянным.
- 3.96. Горизонтальный соленоид, поперечное сечение которого 100 см², а число ампервитков на один сантиметр его длины равно 500, притягивает к себе коаксиальную катушку весом 6 гс, содержащую 10 витков площадью 1 см², по которой идет ток силой 1 А. Под действием сил притяжения рамка движется ускоренно и достигает максимальной скорости в середине соленоида. Определить эту скорость, считая количество теплоты, выделившейся в катушке, пренебрежимо малым.
- 3.97. Два одинаковых антипараллельных круговых тока силой $I = 2$ А и радиуса $R = 10$ см находятся друг от друга на расстоянии $d = 10$ см. В центре одного из них находится маленький виток проволоки площадью $S = 0,1$ см² с током $I_0 = 0,1$ А. Какую работу A нужно совершить, чтобы перенести этот виток в центр друго-

го кругового тока? Как в начальном и конечном положении так и в процессе переноса плоскости всех трех контуров остаются параллельными между собой?

- 3.98. Магнитные моменты двух катушек имеющих общую ось, $p_{m1} = 0,08 \text{ А} \cdot \text{м}^2$ и $p_{m2} = 0,12 \text{ А} \cdot \text{м}^2$. Расстояние между ними $x_0 = 100 \text{ см}$ значительно больше диаметров и длины катушек. Найти: а) работу A , совершаемую при удалении одной катушки от другой вдоль их оси на $a = 10 \text{ см}$; б) силу F , с которой одна катушка действует на другую.

Электромагнитная индукция

- 3.99. Между полюсами электромагнита, где напряженность магнитного поля равна 4000 Э , находится проволочная петля диаметром 10 см , плоскость которой перпендикулярна полю. Определить среднее значение электродвижущей силы, индуцируемой в этой петле при переключении полюсов электромагнита, если это переключение длится $0,2 \text{ с}$.
- 3.100. На рис. 3.II изображены плоские фигуры, изготовленные из тонкой проволоки и расположенные в магнитном поле, перпендикулярном плоскости рисунка и направленном за эту плоскость. Определить направление индукционного тока в каждой фигуре, если магнитное поле начинает убывать.

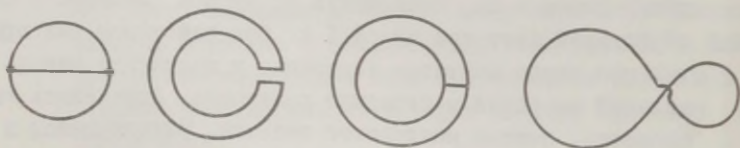


Рис. 3.II.

- 3.101. Виток проволоки площадью $S = 1 \text{ м}^2$ помещен в однородное магнитное поле, индукция B которого изменяется во времени t (с) по закону $B = 0,5(1 + e^{-t})$ (Тл) так, что плоскость его перпендикулярна направлению поля. Найти индуцируемую в этом витке электродвижущую силу.

- 3.102. Виток проволоки радиусом 50 см находится в однородном магнитном поле, перпендикулярном плоскости витка, индукция B которого изменяется во времени $t(c)$ по закону $B = 0,05t$ (Тл). Найти работу, производимую силами индуцированного электрического поля, при перемещении электрона вдоль витка.
- 3.103. Индукция магнитного поля между полюсами динамомашин равна 8000 Гс. Якорь состоит из 100 витков площадью 500 см^2 каждый. Сколько оборотов делает якорь в минуту, если максимальное значение индуцируемой на концах обмотки якоря э.д.с. равно 200 В?
- 3.104. Контуры A и B (см. рис. 3.12) расположены в переменных магнитных полях. Пронизывающие их магнитные потоки равны соответственно $\Phi_A = k_A t$ и $\Phi_B = k_B t$. Остальные участки цепи расположены вне магнитного поля. Найти силу \mathcal{I} индукционного тока в обоих контурах, если известно, что $R_1 = 100 \text{ Ом}$, $R_2 = 200 \text{ Ом}$, $k_A = 100 \text{ Вб/с}$ и $k_B = 60 \text{ Вб/с}$.

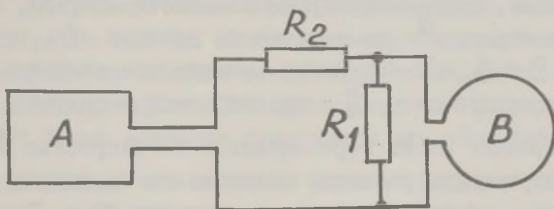


Рис. 3.12.

- 3.105. Виток медного провода охватывает сердечник трансформатора. Вследствие изменения тока в обмотке трансформатора магнитный поток в его сердечнике изменяется равномерно со скоростью -30 Вб/с . Точки M и N делят виток на две части, длины которых находятся в отношении $\ell_2 = 2 \ell_1$. К этим точкам можно присоединить вольтметр, как это показано на рис. 3.13. Что будет показывать вольтметр (\mathcal{U}) в обоих случаях, если сопротивление витка ничтожно мало в сравнении с сопротивлением вольтметра?

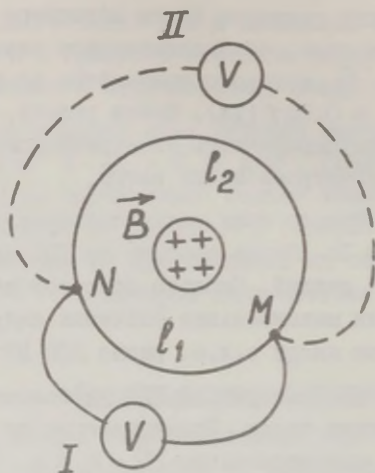


Рис. 3.13.

- 3.106. Плоская спираль с очень ~~большим~~ числом витков N , внешний радиус которой a , находится в магнитном поле, перпендикулярном плоскости спирали, индукция которого B изменяется во времени t по закону $B = B_0 \sin \omega t$. Найти амплитудное значение электродвижущей силы \mathcal{E}_0 , индуцируемой в спирали.
- 3.107. Самолет летит горизонтально со скоростью 360 км/час. Определить разность потенциалов на концах его крыльев, общая протяженность которых 30 м. Вертикальная составляющая индукции магнитного поля Земли равна 0,5 Гс.
- 3.108. В однородном магнитном поле с индукцией I Тл движется поступательно со скоростью 2 м/с отрезок проводника длиной 4 см, расположенный перпендикулярно полю, но направление его движения образует с направлением магнитного поля угол 30° . Найти разность потенциалов, возникающую на концах этого проводника.
- 3.109. Прямой проводник AB длиной 1,2 м с помощью тонких проводов подключен к источнику постоянного тока, электродвижущая сила которого равна 24 В, а внутреннее сопротивление 0,5 Ом (см. рис. 3.14). Проводник

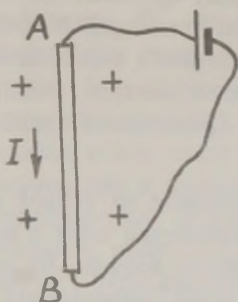


Рис. 3.14.

AB находится в однородном магнитном поле, индукция которого равна $0,85 \text{ Тл}$, а направление перпендикулярно проводнику. Найти значение силы тока в проводнике при его движении со скоростью $12,5 \text{ м/с}$, перпендикулярной проводнику и магнитному полю. Во сколько раз изменится сила тока в проводнике после его остановки? Внешнее

по отношению к источнику тока сопротивление контура равно $2,5 \text{ Ом}$.

- 3.110. Прямой проводник длиной 20 см находится в однородном магнитном поле с индукцией 10 кГс и расположен перпендикулярно направлению поля. Концы этого проводника соединены между собой проводом, находящимся вне магнитного поля. Общее сопротивление такого контура равно $0,1 \text{ Ом}$. Какую силу надо приложить для перемещения проводника в магнитном поле со скоростью 25 м/с перпендикулярно проводнику и направлению поля? Какую мощность приходится при этом развивать?
- 3.111. Предположим, что железная дорога проходит вдоль магнитного меридиана Земли, а рельсы изолированы как от Земли так и друг от друга. Расстояние между рельсами равно $1,2 \text{ м}$, вертикальная составляющая индукции магнитного поля Земли $0,5 \text{ Гс}$. По железной дороге идет поезд со скоростью 60 км/час . Что будет показывать милливольтметр, включенный между рельсами, при приближении к нему поезда, при удалении поезда от него или в момент, когда одна из колесных осей будет находиться над измерительным прибором? Будет ли влиять на результат горизонтальная составляющая индукции магнитного поля Земли на поворотах дороги?
- 3.112. Длинный прямой провод согнут под углом 2α и помещен в однородное магнитное поле с индукцией B , перпендикулярное плоскости провода. По сторонам такой

фигуры, начиная от ее вершины, скользит со скоростью v в направлении биссектрисы угла прямой проводник, перпендикулярный этой биссектрисе. Определить силу тока I , возникающего в таком контуре, зная, что погонное сопротивление обоих проводников одинаково и равно R_0 .

3.II3. Кольцо радиуса R , изготовленное из тонкой проволоки, помещено в однородное магнитное поле с индукцией B , перпендикулярное плоскости кольца. По кольцу скользит кусок прямой проволоки, перемещаясь параллельно самому себе со скоростью v , перпендикулярной этой проволоке. Найти электродвижущую силу, вызывающую ток в описанной системе.

3.II4. Длинный провод, имеющий форму параболы $y = at^2$, находится в однородном магнитном поле с индукцией B , направление которого перпендикулярно плоскости провода. В момент времени $t = 0$, начиная от вершины параболы, по проводу начинает скользить прямой проводник, перпендикулярный оси y с ускорением w в направлении этой оси. Как будет зависеть индуцируемая в таком контуре электродвижущая сила \mathcal{E} от координаты y прямого проводника?

3.II5. По двум параллельным прямым проводам, расстояние между которыми равно 40 см, скользит кусок прямого провода со скоростью 2 м/с, оставаясь перпендикулярным параллельным проводам. Вся система находится в однородном магнитном поле с индукцией 0,5 Тл, перпендикулярном плоскости проводов. Одни концы параллельных проводов соединены через резистор сопротивлением 1000 Ом, другие концы – через резистор сопротивлением 500 Ом. Найти силу индукционного тока в движущемся проводе, если его сопротивление равно 10 Ом.

3.II6. Две длинные параллельные металлические шины расположены горизонтально на расстоянии d друг от друга и находятся в однородном магнитном поле с индукцией B , направление которого перпендикулярно плоскости

шин. Одни концы шин соединены через резистор сопротивлением R . По шинам скользит, оставаясь перпендикулярным шинам, металлический стержень, масса которого m . В момент времени $t = 0$ стержень получил начальную скорость v_0 и начал удаляться от соединенных между собой концов шин. Пренебрегая сопротивлением шин и стержня, трением между ними, а также индуктивностью, найти: а) расстояние Δs , которое стержень пройдет до остановки, б) количество теплоты Q , выделившейся при этом в резисторе R .

- 3.II7. По длинному прямому проводу идет ток силой \mathcal{I} . В магнитном поле этого тока в одной плоскости с прямым проводом находится Π -образный проводник, по параллельным сторонам которого с постоянной скоростью v скользит перпендикулярный к этим сторонам стержень, длина которого d , а сопротивление R (см. рис. 3.15). Сопротивление Π -образного проводника и его индуктивность ничтожно малы. Найти зависимость силы

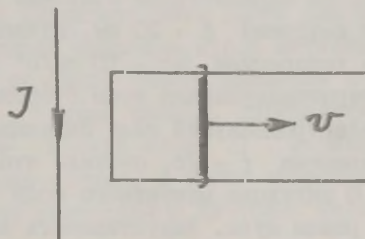


Рис. 3.15.

индукционного тока i , возникающего в контуре, от расстояния x между прямым проводом и подвижным стержнем.

- 3.II8. Прямоугольная проволочная рамка со сторонами a и b перемещается в плоскости длинного прямого провода с током \mathcal{I} так, что вектор скорости \vec{v} остается перпендикулярным проводу, параллельному при этом сторонам b рамки. Определить зависимость электродвижущей силы индукции \mathcal{E} , возникающей в рамке, от расстояния x между проводом и ближней к нему стороной b

рамки, а также направление индукционного тока в рамке.

- 3.119. Длинный прямой провод с током I_0 и две металлические шины расположены в одной плоскости, причем расстояние ближней к проводу шины от него равно a , а расстояние дальней b . Одни концы шин соединены между собой через резистор сопротивлением R . По шинам скользит с постоянной скоростью v перпендикулярный к ним металлический стержень, удаляясь от соединенных между собой концов шин. Пренебрегая трением, а также сопротивлением шин и стержня и индуктивностью, найти: а) силу I и направление индукционного тока в контуре; б) силу F , действие которой на подвижный стержень обеспечивает его равномерное движение.
- 3.120. Π -образный провод находится в однородном магнитном поле, направление которого перпендикулярно плоскости провода, а индукция B изменяется со скоростью $\frac{dB}{dt} = 0,1 \text{ Тл/с}$. По параллельным сторонам провода, расстояние между которыми $l = 20 \text{ см}$, начинает двигаться с постоянным ускорением $w = 10 \text{ см/с}^2$ проводящая перемычка, перпендикулярная этим сторонам. Определить значение электродвижущей силы индукции \mathcal{E} в контуре в момент времени $t = 2 \text{ с}$, считая, что в начальный момент $t = 0$ индукция магнитного поля и площадь контура были равны нулю. Индуктивность контура считать ничтожно малой.
- 3.121. Верхние концы двух вертикальных металлических шин соединены между собой через резистор сопротивлением R . Расстояние между шинами l . Вдоль шин может скользить без трения металлический стержень массы m , оставаясь в процессе движения горизонтальным. Вся система находится в однородном магнитном поле с индукцией B , направление которого перпендикулярно плоскости шин. В некоторый момент времени стержень освобождают и он начинает опускаться. Найти скорость стержня v , как функцию времени t , считая сопротив-

ление шин и стержня пренебрежимо малыми.

- 3.122. Резистор сопротивлением R соединяет верхние концы двух вертикальных металлических шин с расстоянием l между ними. Вдоль шин может скользить без трения металлический стержень массы m , оставаясь перпендикулярным шинам. Вся система помещена в однородное магнитное поле индукции B , направление которого перпендикулярно плоскости шин. Стержень освобождают и он начинает скользить по шинам вниз. Найти скорость v равномерного движения, которого достигнет стержень, в предположении, что погонная индуктивность шин равна k , а сопротивление шин и стержня ничтожно малы. Может ли равномерное движение быть достигнуто в любом случае?
- 3.123. Обкладки конденсатора емкости C соединены с концами двух вертикальных медных шин с расстоянием l между ними. Вся система находится в однородном магнитном поле индукции B , направление которого перпендикулярно плоскости шин. Вдоль шин начинает падать без начальной скорости кусок металла массы m , находясь в процессе своего движения в электрическом контакте с обеими шинами. Определить ускорение этого куска a и силу тока I , заряжающего конденсатор, считая трение, а также сопротивление и индуктивность всех проводников ничтожно малыми.
- 3.124. Прямоугольная рамка со сторонами a и b находится в одной плоскости с длинным прямым проводом, по которому идет ток силой I , причем стороны b параллельны проводу, а ближняя из них находится от него на расстоянии $d > a$. Какой заряд q пройдет через поперечное сечение S проводника, образующего рамку, при ее повороте на 180° вокруг ближней к прямому проводу стороны b ? Удельное сопротивление материала рамки равно ρ .
- 3.125. В однородном магнитном поле, напряженность которого равна 10^4 Э, вращается равномерно, с угловой скоростью 100 рад/с металлический стержень длиной $0,2$ м.

Ось вращения, проходящая через один из концов стержня, перпендикулярна ему и параллельна силовым линиям поля. Определить знак и численное значение разности потенциалов, индуцируемой на концах стержня.

- 3.126. Тонкий металлический стержень длиной ℓ вращается равномерно с частотой γ в однородном магнитном поле с индукцией B . Ось вращения пересекает стержень, а плоскость вращения перпендикулярна направлению магнитного поля. Найти зависимость разности потенциалов U , индуцируемой на концах стержня, от расстояния x между одним из концов стержня и точкой пересечения оси вращения со стержнем. Чему равна эта разность потенциалов в случаях, когда ось проходит а) через конец стержня, б) через его середину, в) через точку стержня, находящуюся на расстоянии $\ell/4$ от его конца.

- 3.127. Медный диск, радиус которого равен 10 см, вращается в магнитном поле, делая 100 оборотов в секунду. Напряженность магнитного поля 10 кЭ, а направление его перпендикулярно плоскости диска. С помощью двух контактов, один из которых соединен с осью, а другой скользит по краю диска, диск этот включили в контур, содержащий амперметр и резистор сопротивлением 10 Ом. Что будет показывать амперметр, сопротивление которого пренебрежимо мало? Что будет показывать этот амперметр, если диск заменить колесом такого же радиуса с двумя спицами? Сопротивление колеса считать пренебрежимо малым.

- 3.128. В однородном магнитном поле с индукцией B вращается равномерно с частотой γ вокруг своей оси медный диск. Ось вращения совпадает с направлением поля.

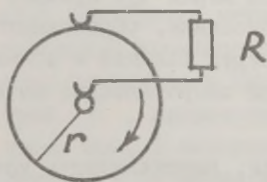


Рис. 3.16.

Между осью диска и его краем с помощью скользящих контактов включен резистор сопротивлением R (рис. 3.16). Определить значение электродвижущей силы индукции \mathcal{E} , возникающей при вращении диска, заряд q , про-

шедший через контур за время совершения диском N оборотов, а также количество теплоты Q , выделившейся за это время в резисторе R . Сопротивление диска и соединительных проводов ничтожно мало.

- 3.129. На тонкой проволоке длиной $\ell = 2$ м подвешен тяжелый шарик. Такой маятник отводят в горизонтальное положение и отпускают, после чего он начинает колебаться в плоскости, перпендикулярной магнитному полю, индукция которого $B = 0,25$ мТс. Определить разность потенциалов U на концах проволоки в момент, когда маятник впервые проходит положение равновесия.
- 3.130. Полукольцо из тонкой проволоки, диаметр которого d , вращается в однородном магнитном поле с индукцией B равномерно с угловой скоростью ω . Ось вращения проходит через один конец полукольца, перпендикулярна его плоскости и параллельна магнитному полю. Найти электродвижущую силу \mathcal{E} , возникающую в полукольце.
- 3.131. Прямоугольная рамка со сторонами a и b вращается с угловой скоростью ω вокруг стороны b в однородном магнитном поле, индукция которого изменяется во времени синусоидально с круговой частотой ω' , а направление перпендикулярно оси вращения рамки. Определить электродвижущую силу индукции \mathcal{E} , возникающую в рамке. Рассмотреть частный случай, когда $\omega' = \omega$ и 1) в начальный момент $B = B_0$, а плоскость рамки перпендикулярна магнитному полю; 2) в начальный момент $B = B_0$, но плоскость рамки параллельна магнитному полю. B_0 — амплитудное значение индукции магнитного поля.
- 3.132. Закороченная катушка с числом витков $N = 100$, площадью витка $S = 5$ см² и сопротивлением $R = 2$ Ом, находится в магнитном поле, напряженность которого $H = 120$ Э, причем ось катушки совпадает с направлением поля. Какой заряд q пройдет через поперечное сечение проволоки катушки при удалении ее из магнитного поля?

- 3.133. Проволочный виток сопротивлением 2 Ом и площадью 40 см^2 находится в однородном магнитном поле, индукция которого равна 1000 Гс . Плоскость витка параллельна полю. Какой заряд q пройдет через поперечное сечение проволоки витка при его повороте на 30° вокруг диаметра, перпендикулярного полю?
- 3.134. Виток медной проволоки с поперечным сечением S имеет радиус z и находится в магнитном поле, индукция которого в течение некоторого времени убывает от значения B до нуля. Сколько электронов (N) успеет пройти через поперечное сечение проволоки во время прохождения индукционного тока по витку?
- 3.135. Медное кольцо массой $m = 5 \text{ кг}$ расположено в плоскости магнитного меридиана Земли. Какой заряд q пройдет через поперечное сечение кольца, если повернуть его вокруг вертикальной оси на угол $\alpha = 90^\circ$. Горизонтальная составляющая индукции магнитного поля Земли $B_2 = 0,2 \text{ Гс}$.
- 3.136. Магнитный поток через неподвижный контур сопротивлением R изменяется в течение времени τ по закону $\Phi = at(\tau - t)$. Определить количество теплоты Q , выделившейся в контуре в течение этого времени. Индуктивностью контура пренебречь.
- 3.137. В длинном соленоиде, радиус которого a , а плотность витков n , сила тока изменяется со скоростью $\frac{di}{dt}$. Найти зависимость модуля напряженности индуцируемого вихревого электрического поля E от расстояния z до оси соленоида.
- 3.138. Длинный соленоид, диаметр которого 5 см , а плотность витков 20 1/см , охватывает плотно к нему прилегающее медное кольцо, изготовленное из проволоки с площадью поперечного сечения 1 мм^2 . Сила тока в соленоиде изменяется со скоростью 100 А/с . Найти силу тока, возникающего в кольце. Индуктивностью кольца пренебречь.
- 3.139. Тонкое кольцо из диэлектрика, имеющее массу m и несущее заряд q , может вращаться свободно вокруг

своей оси. В начальный момент в отсутствии магнитного поля кольцо неподвижно. Затем создают перпендикулярное плоскости кольца однородное магнитное поле, индукция которого изменяется во времени по известному закону $\vec{B}(t)$. Найти угловую скорость вращения кольца $\vec{\omega}$, как функцию зависимости $\vec{B}(t)$.

- 3.140. Кольцо, толщина которого h , внутренний и внешний радиусы соответственно a и b , а удельное сопротивление материала ρ , находится в однородном магнитном поле, причем ось его параллельна полю. Найти силу индукционного тока I в кольце при изменении индукции магнитного поля по закону $B = kt$, где k — некоторая постоянная. Индуктивностью кольца пренебречь.
- 3.141. Известно, что т.н. сила Ампера, действующая на проводник с током в магнитном поле, является результирующей сил Лоренца, действующих на заряженные частицы, движущиеся по проводнику. При движении проводника с током в магнитном поле сила Ампера совершает работу, тогда как работа силы Лоренца равна нулю. Как разрешить это противоречие?

Самоиндукция

- 3.142. Сколько витков из эмалированной проволоки диаметром 0,4 мм надо намотать на картонный цилиндр диаметром 2 см, чтобы получить однослойную катушку с индуктивностью 1 мГн? Витки должны прилегать плотно друг к другу.
- 3.143. Соленоид длиной $\ell = 25$ см намотан из медной проволоки сечением $S = 1 \text{ мм}^2$ с общим сопротивлением $R = 0,2 \text{ Ом}$. Найти индуктивность L такого соленоида.
- 3.144. Определить время релаксации τ соленоида длиной $\ell = 1 \text{ м}$, изготовленного из медной проволоки массой $m = 1 \text{ кг}$. Предполагается, что диаметр соленоида значительно меньше его длины.

- 3.145. По катушке, состоящей из 500 витков, идет ток силой 1 А, создавая магнитный поток 200 Мкс через каждый ее виток. Определить индуктивность катушки.
- 3.146. Катушка имеет форму тороида с сечением в виде квадрата, сторона которого a . Внутренний радиус тороида b . Число витков катушки N . Катушка имеет сердечник с относительной магнитной проницаемостью μ . Определить индуктивность L катушки.
- 3.147. Найти погонную индуктивность коаксиального кабеля L , если радиус жилы его $a = 0,5$ мм, а радиус оболочки $b = 5$ мм. Относительная магнитная проницаемость диэлектрика кабеля $\mu = 1$. Магнитным потоком через продольное сечение жилы пренебречь.
- 3.148. Ток, идущий по тонкому прямому проводу в одном направлении, возвращается по тонкостенному медному цилиндру, коаксиальному с проводом. Диаметры провода и цилиндра равны соответственно a и b , длина обоих l . Найти индуктивность L такой системы.
- 3.149. Найти погонную индуктивность L двухпроводной воздушной линии, если радиус провода a значительно меньше расстояния d между проводами.
- 3.150. На длинный цилиндр намотаны плотно две обмотки (a, a') и (b, b') (рис. 3.17). Индуктивности обмоток одинаковы и равны 0,05 Гн. Какова будет индуктивность всей обмотки, если соединить между собой концы обмоток:

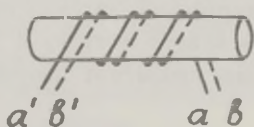


Рис. 3.17.

- 1) a' и b' , 2) a и b' или 3) a' и b , a и b ?

- 3.151. В катушке без сердечника сила тока нарастает равномерно со скоростью 100 А/с. Определить электродвижущую силу самоиндукции, возникающую в катушке, если длина ее равна 40 см, площадь поперечного сечения 5 см^2 , а число витков 1000.

3.152. Как изменяется во времени t сила тока i в катушке с большой индуктивностью при ее подключении к источнику тока \mathcal{E} ? Рассмотрите эту зависимость на начальных стадиях возникновения тока, считая омическое сопротивление катушки ничтожно малым.

3.153. На рис. 3.18 приведена электрическая схема телеграфной связи. Телеграфный аппарат T в отделении связи питается от источника \mathcal{E}_2 . Этот источник включается в цепь через реле RE , управляемое током телеграфной линии. Реле срабатывает при силе тока $\mathcal{I} = 0,2$ А. Электродвижущая сила $\mathcal{E}_1 = 20$ В, полное сопротивление цепи $R = 80$ Ом, индуктивность ее $L = 0,8$ Гн. Через сколько времени t после замыкания ключа K включится телеграфный аппарат в отделении связи?

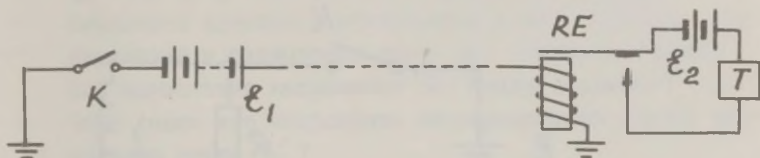


Рис. 3.18.

3.154. Участок цепи AB составляют катушка L индуктивностью 2 Гн и включенный последовательно с ней резистор R сопротивлением 40 Ом (см. рис. 3.19). В начальный момент сила тока равна 20 мА. Затем ток начинает нарастать равномерно со скоростью 50 мА в секунду. Найти разность потенциалов u в зависимости от времени t .

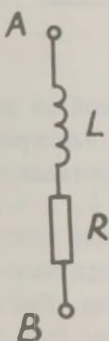


Рис. 3.19.

3.155. В цепи, изображенной на рис. 3.20, $R_1 = 5$ Ом, $R_2 = 95$ Ом, $L = 0,34$ Гн и $\mathcal{E} = 38$ В. Внутреннее сопротивление источника тока ничтожно мало. Найти силу тока \mathcal{I} в сопротивлении R_2 в следующих трех слу-

чаях: а) до размыкания ключа K , б) непосредственно после размыкания ключа K , в) через $0,01$ с после размыкания ключа K .

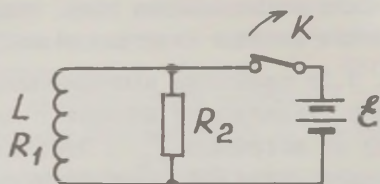


Рис. 3.20.

3.156. В момент времени $t = 0$ выключатель K цепи, изображенной на рис. 3.21, замыкают. Найти закон изменения тока $i(t)$ в катушке L .

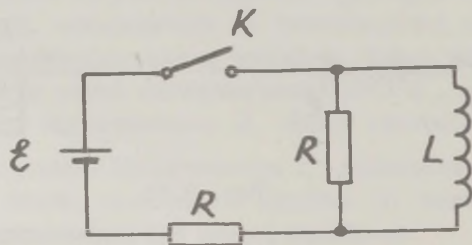


Рис. 3.21.

3.157.

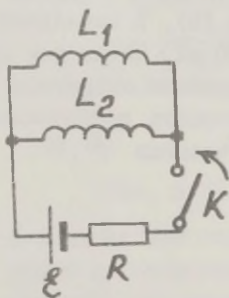


Рис. 3.22.

В цепи, изображенной на рис. 3.22, известны значения электродвижущей силы \mathcal{E} , сопротивления R и индуктивностей L_1 и L_2 . Внутреннее сопротивление источника тока и омические сопротивления катушек ничтожно малы. Найти установившиеся значения силы токов в катушках после замыкания ключа K .

3.158. К клеммам источника тока подключены катушка ($L = 2$ мкГн, $R = 1$ Ом) и шунтирующий ее резистор ($R_0 = 2$ Ом). Электродвижущая сила источника тока $\mathcal{E} = 3$ В.

Какое количество теплоты Q выделится в катушке после выключения источника тока?

3.159. На картонный цилиндр, длина которого 50 см, а диаметр 3 см, намотана однослойная катушка из проволоки диаметром 1 мм, витки которой плотно прилегают друг к другу. В начальный момент времени концы обмотки соединяют с клеммами источника тока, электродвижущая сила которого 1,4 В, а внутреннее сопротивление ничтожно мало. Найти время, в течение которого сила тока в катушке достигает половины своего максимального значения. Какое количество теплоты выделится в катушке за это время?

3.160. Данные цепи, изображенной на рис. 3.23, следующие: $\mathcal{E} = 24$ В, $R = 2400$ Ом, $L = 10$ Гн, $r = 2400/99$ Ом. Объясните явления, происходящие в этом контуре при замыкании и размыкании ключа K . Найдите формулу для вычисления напряжения U между точками A и B . Чему равно это напряжение непосредственно после размыкания ключа K ?

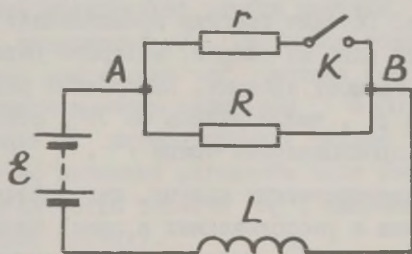


Рис. 3.23.

Взаимная индукция

3.161. Один из двух соленоидов одинакового объема и почти одинаковой длины, находится внутри другого. Найти взаимную индуктивность L_{12} этих соленоидов, зная индуктивности обоих соленоидов L_1 и L_2 .

3.162. Индуктивности двух тороидальных обмоток, имеющих

общий сердечник, $L_1 = 0,5$ Гн и $L_2 = 0,7$ Гн. Определить взаимную индуктивность этих обмоток, если относительная магнитная проницаемость сердечника $\mu = 1$.

- 3.163. Две катушки, индуктивности которых 5 мГн и 3 мГн, соединены последовательно и расположены так, что их магнитные поля усиливают друг друга. Общая индуктивность всей системы при этом равна 11 мГн. Найти взаимную индуктивность катушек. Чему будет равна индуктивность системы, если оставить расположение катушек прежним, а направление тока в одной из катушек изменить на противоположное?
- 3.164. Длинный прямой провод и прямоугольная рамка со сторонами a и b расположены в одной плоскости, причем стороны b рамки параллельны прямому проводу и ближайшая из них находится от него на расстоянии x . Найти взаимную индуктивность L_{12} такой системы.
- 3.165. Найти взаимную индуктивность L_{12} тороидальной обмотки и длинного прямого провода, протянутого по оси тороида. Сечение тороида представляет собой прямоугольник одна из сторон, которого равна h и параллельна прямому проводу. Внутренний радиус обмотки a , внешний b , число витков ее N , относительная магнитная проницаемость среды μ .
- 3.166. Два концентрических кольца, изготовленных из тонкой проволоки и расположенных в одной плоскости, имеют радиусы a и b . Найти взаимную индуктивность L_{12} этих колец и магнитный поток Φ через площадь, охватываемую внешним кольцом, создаваемый током I , проходящим по внутреннему кольцу. Предполагается, что $a \ll b$.
- 3.167. Постоянный магнит в виде маленького цилиндрика расположен в центре очень короткой катушки из N витков радиуса a коаксиально с катушкой. Катушка соединена с баллистическим гальванометром, причем полное сопротивление образованного таким образом конту-

ра R . Найти магнитный момент p_m постоянного магнита, если при удалении его из катушки показание гальванометра равно q .

3.168. Вывести формулу для вычисления взаимной индуктивности L_{12} двух коаксиальных витков проволоки радиуса R , если расстояние между их центрами $h \gg R$.

3.169. Взаимная индуктивность двух контуров L_{12} . В одном из контуров силу тока i_1 начинают изменять по закону $i_1 = \alpha t$, где α — некоторая постоянная, а t — время. Найти закон изменения силы тока i_2 в другом контуре, если индуктивность его L_2 , а сопротивление R .

3.170. Для удаления адсорбированных газов с поверхности металлических деталей вакуумных установок детали эти прогревают токами Фуко, создаваемыми в катушке, соединенной с генератором высокой частоты. Прогреваемой деталью является анод радиолампы, представляющий собой никелевый цилиндр диаметра $D = 8$ мм, высотой $h = 2$ см и с толщиной стенки $a = 0,1$ мм. Цилиндр этот расположен коаксиально внутри катушки, длиной $H = 10$ см, содержащей $N = 15$ витков толстой проволоки. По катушке пропускают ток, частота которого $\gamma = 100$ кГц, а эффективное значение силы тока $I = 50$ А. Удельное сопротивление ρ никеля принять равным 7 мкОм·см. Не принимая во внимание магнитное поле токов Фуко, определить количество теплоты Q , выделяющейся в цилиндре за одну секунду.

3.171. Внутри катушки, описанной в предыдущей задаче, находится платиновый диск, диаметром $D = 2$ см и толщиной $h = 0,5$ мм, ось которого совпадает с осью катушки. Пренебрегая влиянием магнитного поля токов Фуко, вычислить количество теплоты Q , выделяющейся в диске за одну секунду.

Магнитное поле в ферромагнетиках

- 3.172. На железное кольцо, средний диаметр которого равен 25 см, намотано в один слой 500 витков провода. При пропускании по такой катушке тока силой 2,5 А в кольце возникает магнитное поле, индукция которого равна 14 кГс. Определить относительную магнитную проницаемость железа в этих условиях.
- 3.173. Длинный соленоид с сердечником в виде железного стержня имеет плотность витков 8 л/см и по нему пропускают ток силой 2 А. Определить магнитную восприимчивость железа в этих условиях.
- 3.174. Длинный соленоид, снабженный железным сердечником, содержит 1000 витков. Как следует изменить число витков соленоида, чтобы после удаления сердечника индукция магнитного поля внутри него осталась прежней? Относительную магнитную проницаемость железа принять равной 400.
- 3.175. На железное кольцо, средний диаметр которого 16 см, а площадь поперечного сечения 10 см², навиты две одинаковые обмотки из 50 витков с сопротивлением 10 Ом каждая. Определить магнитный поток Φ через поперечное сечение сердечника и относительную магнитную проницаемость μ его в условиях, когда с источником тока, напряжение на клеммах которого 64 В, соединяют 1) одну из обмоток, 2) обе обмотки, включенные последовательно, 3) обе обмотки, включенные параллельно.
- 3.176. Торoidalная однослойная катушка со стальным сердечником, средний диаметр которой $D = 30$ см, а поперечное сечение $S = 1,6$ см², содержит $N = 800$ витков проволоки, концы которой соединены с клеммами баллистического гальванометра, сопротивление которого $R = 0,8$ Ом. При включении в обмотку катушки тока силой $I = 1,8$ А, гальванометр показал $q = 0,24$ мКл. Определить напряженность H и индукцию

B магнитного поля в сердечнике, а также его относительную магнитную проницаемость μ и намагниченность j при токе силой 1,8 А. Предполагается, что зависимость между индукцией B и напряженностью H магнитного поля для данной марки стали неизвестна.

- 3.177. В соленоиде, описанном в предыдущей задаче, ток выключили. Теперь баллистический гальванометр показал $q' = 8$ мкКл. Найти остаточную индукцию $B_{ост}$ и остаточную намагниченность $j_{ост}$ сердечника.
- 3.178. Сердечник тороидальной обмотки, средняя длина которой 1 м, а число витков 1300, имеет поперечную воздушную щель шириной 3 мм. При пропускании тока через обмотку индукция магнитного поля в щели оказалась равной 1 Тл. Определить силу тока в обмотке.
- 3.179. Длина тонкого сердечника тороидальной обмотки равна 0,5 м, а изготовлен он из предварительно размагниченого железа и имеет поперечную щель шириной 1 мм. Обмотка содержит 800 витков. Через обмотку пропускают ток силой 1,5 А. Найти индукцию магнитного поля в сердечнике и его воздушной щели.
- 3.180. На два одинаковых тонких железных кольца, из которых одно имеет поперечную щель шириной 1 мм, навиты одинаковые обмотки из 100 витков. Через обмотку, сердечник которой не имеет щели, пропускают ток силой 1,25 А. Какой ток надо пропустить через другую обмотку, чтобы индукция магнитного поля в обоих сердечниках была одинакова?

Энергия магнитного поля

- 3.181. Длинная цилиндрическая поверхность радиуса R заряжена равномерно с линейной плотностью заряда τ и вращается вокруг своей оси с угловой скоростью ω . Найти энергию магнитного поля W , приходящуюся на единицу длины цилиндра, если относительная магнитная проницаемость среды $\mu = 1$.

- 3.182. Тонкое равномерно заряженное кольцо радиуса 20 см вращается вокруг своей оси с угловой скоростью 100 рад/с. Найти отношение плотностей энергии магнитного и электрического поля $\frac{w_m}{w_e}$ в точке оси кольца, расстояние которой от центра равно радиусу кольца.
- 3.183. Две катушки одинаковой индуктивности L соединены а) последовательно, б) параллельно. Найти индуктивность системы в обоих случаях, считая взаимную индуктивность катушек ничтожно малой.
- 3.184. Тороидальная катушка имеет две почти одинаковые обмотки, входящие одна в другую. Число витков каждой обмотки 1000, средняя длина их 25 см, площадь поперечного сечения 1 см^2 , а магнитная проницаемость среды $\mu = 1$. Через катушку пропускают ток силой 5 А. Найти энергию магнитного поля при условии, что магнитные поля обеих обмоток имеют одинаковое направление. Как изменится эта энергия, если одну из обмоток выключить?
- 3.185. Найти энергию магнитного поля в железном сердечнике, объем которого 400 см^3 , если индукция магнитного поля в нем 1,2 Тл.
- 3.186. При некотором значении силы тока плотность энергии магнитного поля внутри соленоида равна $0,2 \text{ Дж/м}^3$. Во сколько раз изменится эта величина, если при таком же значении силы тока в соленоид ввести железный сердечник?
- 3.187. На железный тороид навита обмотка из $N = 500$ витков проволоки. При пропускании через обмотку тока силой $I = 2 \text{ А}$ магнитный поток через поперечное сечение тороида $\Phi = 1 \text{ мВб}$. Найти энергию W магнитного поля.
- 3.188. Через тороидальную обмотку с железным сердечником, содержащую $N = 1000$ витков, пропускают ток силой $I = 1 \text{ А}$. Средний радиус тороида $R = 32 \text{ см}$, а радиус его поперечного сечения $r = 3 \text{ см}$. Найти энергию W магнитного поля обмотки.

- 3.189. Через тороидальную обмотку с железным сердечником, пропускают ток силой $\mathcal{I} = 0,6$ А. Диаметр проволоки обмотки $d = 0,4$ мм, витки ее плотно прилегают друг к другу. Определить индуктивность обмотки L и энергию магнитного поля W , зная, что поперечное сечение сердечника $S = 4$ см², а его средний диаметр $D = 30$ см.
- 3.190. Изготовленный из некоторого магнетика тороид, со средним диаметром $D = 30$ см и площадью поперечного сечения $S = 5$ см² имеет поперечную щель шириной $a = 2$ мм. На такой сердечник навита обмотка, содержащая $N = 800$ витков тонкой проволоки. При пропускании тока через обмотку относительная магнитная проницаемость материала сердечника $\mu = 1400$. Найти: а) отношение энергий магнитного поля, запасенных в щели ($W_{\text{щ}}$) и в магнетике ($W_{\text{м}}$), б) индуктивность системы L .

Ток смещения

- 3.191. Поверхность шара, равномерно покрытого слоем радиоактивного вещества, испускает электроны. Найти индукцию B магнитного поля такого радиального тока вблизи поверхности шара.
- 3.192. Пространство между обкладками сферического конденсатора заполнено веществом, плохо проводящим электричество, удельное сопротивление которого ρ , а относительная диэлектрическая проницаемость ϵ . В момент времени $t = 0$ на внутреннюю обкладку подается некоторый заряд. Найти: а) зависимость между векторами плотности тока смещения $\vec{J}_{\text{см}}$ и тока проводимости $\vec{J}_{\text{пр}}$ в произвольной точке пространства между обкладками в один и тот же момент времени, б) силу тока смещения $\vec{J}_{\text{см}}$ через произвольную замкнутую поверхность, находящуюся в пространстве между обкладками конденсатора и охватывающую внутреннюю его обкладку, в момент времени, когда заряд ее равен q .

- 3.193. Обкладками плоского конденсатора являются два одинаковых параллельных диска. Пространство между ними заполнено веществом, плохо проводящим электричество. Конденсатор зарядили и затем отключили от источника тока. Не учитывая краевой эффект, доказать, что магнитное поле в конденсаторе отсутствует.
- 3.194. Плоский конденсатор с площадью обкладки $S = 100 \text{ см}^2$ включен в сеть переменного тока. Найти амплитудное значение напряженности электрического поля E_m в конденсаторе, если амплитудное значение силы тока в соединительных проводах $I_m = 1 \text{ мА}$, а круговая частота его $\omega = 1,6 \cdot 10^7 \text{ рад/с}$.
- 3.195. Обкладками плоского конденсатора являются два одинаковых диска с расстоянием d между ними. Пространство между обкладками заполнено однородным диэлектриком с относительной проницаемостью ϵ . На обкладки подано напряжение $u = U_m \sin \omega t$. Не учитывая краевой эффект, найти напряженность H магнитного поля в конденсаторе.
- 3.196. Обкладки плоского конденсатора имеют форму диска и расположены на расстоянии d друг от друга. Пространство между ними заполнено веществом, плохо проводящим электричество, удельная проводимость которого σ , а относительная диэлектрическая проницаемость ϵ . На конденсатор подается напряжение $u = U_m \cos \omega t$. Пренебрегая краевым эффектом, найти зависимость напряженности магнитного поля H от расстояния z до оси дисков.
- 3.197. Плоский конденсатор, обкладки которого суть диски радиуса R , зарядили, а затем отключили от источника тока. В конденсаторе возник искровой разряд, направленный вдоль оси дисков. Считая искровой разряд квазистационарным и пренебрегая краевым эффектом, найти мгновенное значение напряженности магнитного поля H в конденсаторе, если известно мгновенное значение i силы тока в искровом канале.

- 3.198. Длинный соленоид, расположенный в воздухе, имеет радиус R и плотность витков n . По соленоиду пропускают ток $i = I_m \sin \omega t$. Найти зависимость плотности тока смещения $j_{\text{см}}$ от расстояния z до оси соленоида.

Движение заряженных частиц в электрическом и магнитном поле

- 3.199. Расстояние между обкладками плоского вакуумного конденсатора равно 1 см. От одной из пластин начинают под действием электрического поля конденсатора двигаться протон и α -частица. Какой путь пройдет α -частица к моменту времени, когда протон достигнет другой пластины?
- 3.200. Протон и α -частица, пройдя предварительно одинаковую разность потенциалов, попадают в электрическое поле плоского конденсатора, двигаясь в начальный момент параллельно его пластинам. Определить отношение отклонений Δx этих частиц в электрическом поле.
- 3.201. Электроны, испущенные катодом K с относительно малой скоростью, ускоряются электрическим полем между катодом K и анодом A , напряжение между которыми U (рис. 3.24), проходят через плоский конденсатор с длиной пластин ℓ и затем попадают на флуоресцирующий экран B , находящийся от конденсатора на расстоянии D . Под действием электрического поля конденсатора светящаяся точка на экране смещается на расстояние d . Определить напряженность E поля конденсатора.

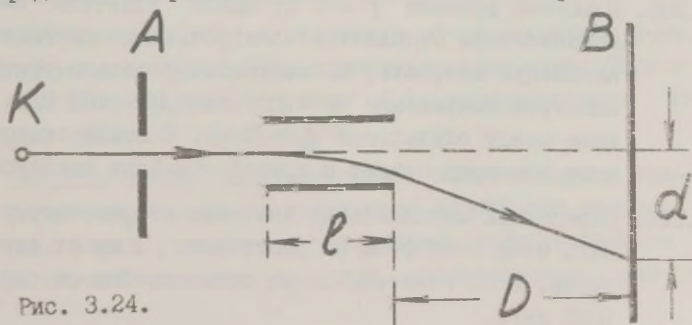


Рис. 3.24.

- 3.202. Электрон попадает в поле заряженного плоского конденсатора, двигаясь со скоростью $10\,000\text{ км/с}$ параллельно его обкладкам, на одинаковом расстоянии от обеих обкладок. Расстояние между обкладками конденсатора равно 2 см , длина их 10 см , а приложенное к конденсатору напряжение 20 В . На каком расстоянии от положительно заряженной пластины покидают электроны поле конденсатора?
- 3.203. В плоский конденсатор влетают электроны, скорость которых $v_0 = 3000\text{ км/с}$, параллельна его обкладкам. Обкладки имеют форму прямоугольника, сторона $a = 5\text{ см}$ которого параллельна направлению движения электронов. Напряженность электрического поля в конденсаторе $E = 200\text{ В/м}$. Найти угол α , на который отклоняется лучок электронов при выходе из конденсатора от первоначального его направления.
- 3.204. Протон, прошедший в электрическом поле разность потенциалов U , влетает в плоский конденсатор, напряженность электрического поля E которого нарастает пропорционально времени $t: E = kt$, где k — некоторая постоянная. Обкладки конденсатора имеют форму прямоугольника. Скорость протона при входе в конденсатор параллельна обкладкам, а также их сторонам длиной a . Предполагая, что протон влетел в поле конденсатора в момент времени $t = 0$, найти угол α между направлениями движения протона при входе его в поле конденсатора и выходе из него.
- 3.205. В момент времени $t = 0$ от одной пластины плоского конденсатора отделяется электрон, имея ничтожно малую начальную скорость. На конденсатор подано ускоряющее электрон напряжение $u = kt$, где $k = 100\text{ В/с}$. Расстояние между обкладками $h = 5\text{ см}$. С какой скоростью v этот электрон придет к другой обкладке конденсатора?
- 3.206. Определить максимальное значение напряженности магнитного поля электрона на расстоянии 1 нм от его траектории, если электрон летит прямолинейно со скоростью 1000 км/с .

- 3.207. Электрон, летящий со скоростью $4 \cdot 10^7$ м/с, попадает в однородное магнитное поле с индукцией I мТл, перпендикулярное направлению движения электрона. Определить тангенциальную w_{τ} и нормальную w_n составляющую ускорения электрона в магнитном поле.
- 3.208. Электрон, прошедший ускоряющую разность потенциалов I кВ, попадает в однородное магнитное поле, направление которого перпендикулярно скорости электрона. Какова будет траектория электрона в этом поле, если магнитная индукция поля равна 10 мТл.
- 3.209. Протон, прошедший ускоряющую разность потенциалов 600 В, попадает в однородное магнитное поле, напряженность которого равна 240 кА/м, двигаясь перпендикулярно к направлению поля. Найти радиус кривизны траектории протона в магнитном поле, а также его импульс и частоту обращения.
- 3.210. Заряженная частица, прошедшая в электрическом поле разность потенциалов в $1,5$ кВ, попадает в однородное магнитное поле напряженностью 100 Э и движется в этом поле по окружности радиуса 6 см. Определить скорость частицы.
- 3.211. Электрон обращается в магнитном поле напряженностью 120 Э по окружности, плоскость которой перпендикулярна полю. Определить период обращения электрона.
- 3.212. Электрон движется со скоростью v в магнитном поле с индукцией B перпендикулярно полю. Определить момент импульса электрона L .
- 3.213. Электрон движется со скоростью v в магнитном поле, индукция которого B , перпендикулярно полю. Определить магнитный момент тока p_m , эквивалентного такому движению электрона.
- 3.214. Согласно теории Бора электрон в атоме водорода движется вокруг ядра по окружности известного радиуса. Зная заряд e и массу m электрона найти отношение магнитного момента p_m тока, эквивалентного движению

электрона, к орбитальному моменту импульса его $\vec{\ell}$. Как направлены векторы \vec{p}_m и $\vec{\ell}$?

- 3.215. Электрон и протон, скорости которых одинаковы по величине и по направлению, попадают в однородное магнитное поле. а) Во сколько раз отличаются радиусы кривизны траекторий электрона и протона? б) Каким будет ответ на этот же вопрос в случае, если равны между собой не скорости, а энергии этих частиц?
- 3.216. Индукция однородного магнитного поля в циклотроне равна 0,65 Тл. Напряжение какой частоты надо подать на дуанты, чтобы в этом циклотроне можно было ускорять ионы водорода?
- 3.217. Найти время t , в течение которого энергия протона в циклотроне увеличится до значения $W = 4$ МэВ при условии, что начальная энергия его была ничтожно мала. Известно, что расстояние между дуантами $d = 1$ см, а напряжение на них во время прохождения между ними протона $U = 20$ кВ. Индукция магнитного поля в циклотроне $B = 0,8$ Тл. Зависимость массы протона от скорости пренебречь.
- 3.218. Частота высокочастотного генератора циклотрона $\nu = 10$ МГц. Какой должна быть амплитуда напряжения U_m между дуантами, чтобы при радиусе траектории протонов $R = 0,5$ м радиусы соседних траекторий отличались не менее, чем на $\Delta R = 1$ см?
- 3.219. В циклотроне ускоряются протоны так, что максимальное значение радиуса кривизны их траектории $\rho = 50$ см. Найти: а) конечное значение энергии протонов W , если индукция магнитного поля в циклотроне $B = 1$ Тл; б) частоту высокочастотного генератора ν , при которой протоны приобретают на выходе энергию $W = 20$ МэВ.
- 3.220. Однородное электрическое поле, напряженность которого 800 В/см, и магнитное поле напряженностью 50 Э расположены перпендикулярно друг другу в одной и той же области пространства. С какой скоростью должен двигаться электрон перпендикулярно к направлению обоих полей,

чтобы пройти через такое двойное поле прямолинейно?

3.221. Пучок протонов пролетает прямолинейно через пространство, в котором действуют одновременно два взаимноперпендикулярных поля (электрическое с напряженностью E и магнитное индукции B) перпендикулярно к обоим полям и затем попадает на заземленный экран. Определить силу F , действующую на экран, если сила тока в пучке $I = 0,8$ мА, $E = 120$ кВ/м и $B = 50$ мТл.

3.222. Точка C является источником протонов, скорости v которых одинаковы по величине, но могут иметь два направления \vec{v}_1 и \vec{v}_2 , образующие между собой угол $\delta = 10^\circ$. Плоскость CD , перпендикулярная вектору \vec{v}_1 , представляет собой флуоресцирующий экран. Перпендикулярно векторам \vec{v}_1 и \vec{v}_2 действует однородное магнитное поле, напряженность которого $H = 5$ Э. В итоге движения протонов на экране CD появляется два светящихся пятна. Определить расстояние d между этими пятнами, если $v = 1$ км/с.

3.223. Пучок заряженных частиц проходит прямолинейно через область A (см. рис. 3.25), в которой действуют взаимноперпендикулярные электрическое и магнитное поле, напряженность и индукция которых равны соответственно E и B . После выключения магнитного поля след пучка на флуоресцирующем экране смещается на расстояние Δx . Зная длины отрезков a и b , найти удельный заряд частиц q/m .

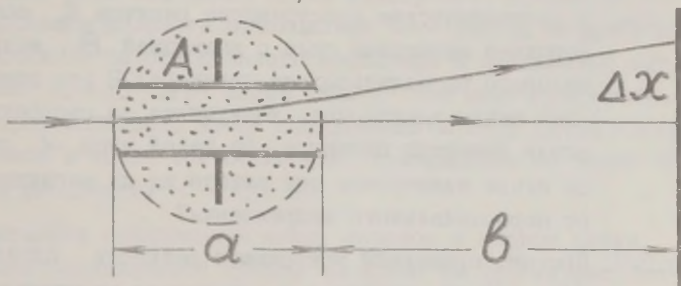


Рис. 3.25.

3.224. Энергия электронов, вылетающих из пушки телевизионной трубки, равна 12 кэВ. Ось трубки расположена горизонтально в плоскости магнитного меридиана Земли так, что электроны летят с юга на север. Индукция вертикальной составляющей магнитного поля Земли равна 55 мкТл. Найти: а) направление отклонения электронного луча под действием магнитного поля Земли; б) отклонение электронов от первоначального направления в конце пути длиной 20 см.

3.225. Обкладки конденсатора суть цилиндрические поверхности радиуса r_1 и r_2 (см. рис. 3.26). В пространстве между обкладками создано однородное магнитное поле индукции B , направление которого параллельно оси цилиндра. Через узкую щель в диафрагме AA , находя-

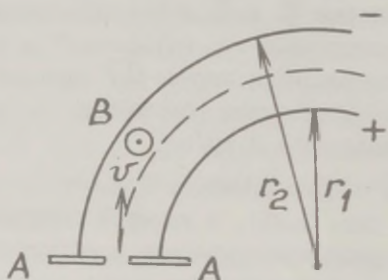


Рис. 3.26.

— щуюся на одинаковом расстоянии от обеих обкладок, в конденсатор впускают пучок α -частиц, обладающих энергией W . Какое напряжение U надо подать на конденсатор, чтобы α -частицы прошли через конденсатор

на одинаковом расстоянии от его обкладок? Потенциал внешней обкладки конденсатора отрицателен по отношению к внутренней.

3.226. В цилиндрическом пространстве радиуса r_0 создано однородное магнитное поле с индукцией B , направление которого параллельно оси цилиндра. В это поле впускают пучок электронов, движущихся со скоростью v_0 вдоль диаметра цилиндра. На какой угол α отклонится пучок электронов при выходе их из магнитного поля от первоначального направления?

3.227. Протон, прошедший ускоряющую разность потенциалов $U = 500$ кВ, попадает в однородное магнитное поле с индукцией $B = 0,51$ Тл, перпендикулярное направле-

нию движения протона. Протяженность магнитного поля $d = 10$ см (см. рис. 3.27). Найти угол α , на который отклонится направление движения протона при выходе из магнитного поля от первоначального его направления.

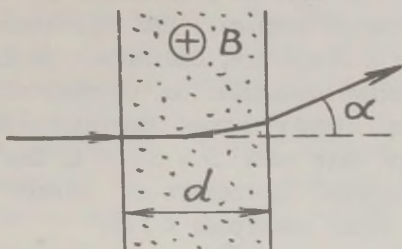


Рис. 3.27.

- 3.228. Протон, летящий со скоростью 20 км/с, попадает в однородное магнитное поле с напряженностью 30 Э, причем скорость его образует с направлением поля угол 30° . Определить параметры траектории протона.
- 3.229. Электрон, имеющий скорость $v_0 = 10^7$ м/с, влетает в плоский конденсатор параллельно его обкладкам. Обкладки конденсатора имеют форму прямоугольников, стороны $a = 6$ см, которых параллельны вектору \vec{v}_0 . Напряженность электрического поля в конденсаторе $E = 10$ кВ/м. Вылетев из конденсатора, электрон попадает в однородное магнитное поле с индукцией $B = 15$ мТл, направление которого совпадает с направлением вектора \vec{v}_0 . Определить траекторию электрона в магнитном поле.
- 3.230. Слабо рассеивающийся пучок электронов, прошедший ускоряющую разность потенциалов $U = 900$ В, исходит из точки A на оси длинного соленоида с плотностью витков $n = 10^3$ 1/м. Какой силы I ток надо пропустить через соленоид, чтобы сфокусировать этот пучок электронов в точке оси соленоида, находящейся от точки A на расстоянии $l = 0,2$ м?
- 3.231. Разность потенциалов между катодом и анодом пушки электроннолучевой трубки $U = 900$ В. Трубка расположена коаксиально внутри длинного соленоида с плотно-

стью витков $n = 100 \text{ л/см}$. В аноде имеется маленькое отверстие, через которое могут пройти электроны, рассеивающиеся под малым углом. Между анодом и расположенным позади него на расстоянии $\ell = 30 \text{ см}$ экраном электрического поля нет. При постоянном увеличении силы тока в соленоиде, светящееся пятно на экране, первоначально расплывчатое, периодически становится отчетливым. Первое хорошо сфокусированное пятно получается при силе тока $I = 0,168 \text{ А}$. Как объяснить описанное явление? Определить из данных этого опыта удельный заряд электрона e/m ,

3.232. Электрическое поле (\vec{E}) и магнитное поле (\vec{B}) направлены по оси y прямоугольной системы координат. Из начала координатной системы, расположенной в таком двойном поле, выходит с начальной скоростью v_0 в направлении оси x частица с удельным зарядом q/m . Найти: а) координату частицы y_n в момент, когда она в n -ный раз пересекает ось y ; б) угол α между скоростью частицы и осью y в этот момент.

3.233. Из точки A , лежащей на оси длинного соленоида, выходит электрон с начальной скоростью \vec{v} , образующей с осью соленоида угол α . Индукция магнитного поля внутри соленоида B . На расстоянии ℓ от точки A расположен экран, перпендикулярный оси соленоида. На каком расстоянии a от оси придет электрон на экран?

3.234. С поверхности прямого цилиндрического провода, по которому идет постоянный ток силой I , исходит электрон с начальной скоростью v_0 в радиальном направлении. На какое максимальное расстояние z_{max} от оси цилиндра успеет удалиться электрон прежде, чем начать возвращаться к проводу под действием идущего по нему тока?

3.235. Частица с удельным зарядом q/m движется в пространстве, где действуют одновременно взаимно перпендикулярные электрическое и магнитное поле. Пусть электрическое поле (\vec{E}) будет направлено по оси y , магнитное (\vec{B}) по оси z прямоугольной системы координат.

нат, а частица в момент времени $t = 0$ покоится в начале координат. Определить параметры траектории частицы. Найти координаты ее в момент времени t .

- 3.236. Система состоит из длинного цилиндрического анода радиуса b и коаксиального с ним цилиндрического катода радиуса a . Вдоль оси системы натянута нить, накаливаемая проходящим по нему током силой I , который создает вокруг себя магнитное поле. При каком минимальном напряжении U между катодом и анодом электроны, выходящие из катода с ничтожно малой начальной скоростью, могут достигнуть анода?
- 3.237. Простейший магнетрон представляет собой вакуумную лампу, одним из электродов которой является прямая нить накала радиуса a , а другим — коаксиальный с этой нитью цилиндр радиуса b . Вся система расположена в однородном магнитном поле, параллельном оси системы. Между катодом и анодом приложено ускоряющее электроны напряжение U . При каком значении B индукции магнитного поля электроны, вышедшие из катода с ничтожно малой скоростью, могут достигнуть анода?
- 3.238. Частица с удельным зарядом q/m находится внутри длинного соленоида на расстоянии z от его оси. В соленоид включают ток и индукция магнитного поля внутри него достигает значения B . Найти скорость v и радиус кривизны ρ траектории частицы в предположении, что в процессе нарастания тока смещение ее ничтожно мало.
- 3.239. Магнитный поток через площадь, охватываемую стационарной орбитой электрона в бетатроне, нарастает с почти постоянной скоростью $\frac{d\Phi}{dt} = 5$ Вб/с. Радиус орбиты равен 25 см. В конце процесса ускорения электрон достигает энергии 25 МэВ. Найти число полных оборотов электрона в процессе ускорения и путь, пройденный им при этом.
- 3.240. Доказать, что в бетатроне электроны обращаются по круговым орбитам постоянного радиуса тогда, когда

индукция магнитного поля в месте нахождения орбиты равна половине среднего значения индукции магнитного поля, охватываемого орбитой.

- 3.241. В бетатроне индукция магнитного поля в месте нахождения стационарной орбиты электрона радиуса $r = 20$ см возрастает за время $\Delta t = 1$ мс практически равномерно от нуля до значения $B = 0,4$ Тл. Какое количество энергии W получает электрон при прохождении одного оборота по орбите?

Эффект Холля

- 3.242. В электромагнитном насосе для перекачивания жидкого металла один из участков трубы, наполненный жидким металлом, помещен в однородное магнитное поле (\vec{B}). Через этот участок трубы пропускают постоянный ток силой I так, что вектор плотности этого тока \vec{j} перпендикулярен вектору индукции магнитного поля \vec{B} (см. рис. 3.28). Найти дополнительное давление p , создаваемое насосом, если известно: $B = 0,1$ Тл, $I = 100$ А и $a = 2$ см.

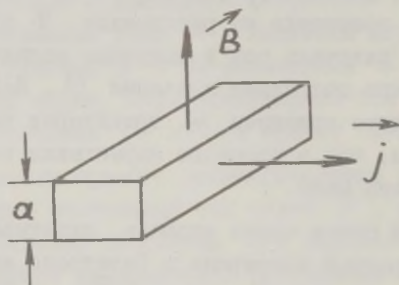


Рис. 3.28.

- 3.243. Через прямую металлическую полосу толщиной $0,1$ мм пропускают постоянный ток силой 10 А. Полоска эта помещена в однородное магнитное поле напряженностью 80 кА/м, перпендикулярное плоскости полосы. Найти напряжение, возникающее между краями полосы, если концентрация электронов проводимости равна $9 \cdot 10^{27}$ $1/\text{м}^3$.

- 3.244. Покажите, что в проводнике с током, помещенном в однородное магнитное поле, индукция которого B , напряженность электрического поля Холла E_x и напряженность электрического поля, вызывающего ток в проводнике, E связаны соотношением:

$$\frac{E_x}{E} = \frac{B}{n e \rho},$$

где n — концентрация электронов проводимости, а ρ — удельное сопротивление материала проводника.

- 3.245. В опыте Барлоу радиус диска $l = 0,1$ м, сила тока в контуре диска $I = 6$ А, среднее значение индукции магнитного поля, перпендикулярного плоскости диска и направленного из-за диска к наблюдателю, $B = 0,1$ Тл. В каком направлении начнет вращаться диск, если ток в нем направлен от оси к периферии? Какая мощность P потребляется от источника тока, если диск вращается с частотой $\nu = 1$ об/с?
- 3.246. Какое давление p оказывает ток в длинном тонком соленоиде на его боковую поверхность, если плотность витков соленоида n , а сила тока в нем I ?
- 3.247. Найти максимально возможное значение силы тока I в длинном тонком соленоиде радиуса R с плотностью витков n , если известно, что проволока соленоида выдерживает максимальную силу натяжения F .
- 3.248. Плоский конденсатор с площадью пластин S и расстоянием d между ними, находится в потоке проводящей жидкости с удельным сопротивлением ρ . Жидкость течет параллельно обкладкам конденсатора со скоростью v . Вся система находится в однородном магнитном поле (\vec{B}), направление которого перпендикулярно скорости \vec{v} и параллельно обкладкам конденсатора. Обкладки конденсатора соединены через внешний резистор. Каким должно быть сопротивление этого резистора R , чтобы выделяющаяся в нем мощность была максимальной? Каково значение этой максимальной мощности P_{\max} ?
- 3.249. По прямому длинному цилиндрическому медному проводу радиуса $r = 5$ мм идет ток силой $I = 50$ А. Найти

разность потенциалов между осью и поверхностью провода U_H , зная, что концентрация электронов проводимости в меди $n = 9 \cdot 10^{22}$ $\text{I}/\text{см}^3$.

- 3.250. При исследовании эффекта Холла в натрии при плотности тока $200 \text{ A}/\text{см}^2$ в однородном магнитном поле с индукцией 1 Тл было получено поперечное электрическое поле напряженностью $5 \text{ В}/\text{см}$. Найти из этих данных концентрацию электронов проводимости n_e в натрии и сравнить ее с концентрацией атомов n_a .
- 3.251. Определить подвижность электронов проводимости в медном проводнике, если из опыта по исследованию эффекта Холла выяснилось, что в однородном магнитном поле с индукцией 100 мТл напряженность поперечного тока электрического поля в 3100 раз меньше напряженности поля, создающего ток в проводнике.

4. ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ

Собственные и свободные электрические колебания

- 4.1. Емкость колебательного контура равна 2 мкФ. Какова должна быть индуктивность этого контура, чтобы частота его собственных колебаний была 1000 Гц?
- 4.2. На какой диапазон частот можно настроить колебательный контур, индуктивность которого 2 мГн, а емкость можно регулировать в пределах 60 – 480 пФ? Омическим сопротивлением контура можно пренебречь.
- 4.3. Напряжение на конденсаторе колебательного контура изменяется по закону: $u = 30 \sin 10^3 \pi t$ (В) (время измерено в секундах). Емкость конденсатора $C = 0,3$ мкФ. Определить период колебаний T , индуктивность контура L и зависимость силы тока i от времени. Омическим сопротивлением контура пренебречь.
- 4.4. Колебательный контур образуют конденсатор емкости $C = 5$ мкФ и катушка индуктивности $L = 0,2$ Гн. Определить амплитудное значение силы тока I_m в контуре, если амплитудное значение напряжения на конденсаторе $U_m = 90$ В. Омическое сопротивление контура ничтожно мало.
- 4.5. Сила тока в колебательном контуре изменяется по закону $i = 0,02 \sin 400 \pi t$ (А) (время измерено в секундах). Индуктивность контура равна 1 Гн, а омическое сопротивление его ничтожно мало. Найти период колебаний, амплитудное значение напряжения на конденсаторе, емкость контура, максимальные значения энергии электрического и магнитного полей.
- 4.6. Заряженный до напряжения 500 В конденсатор с емкостью 1 мкФ замкнули на катушку индуктивности с ничтожно ма-

лым активным сопротивлением. Амплитудное значение напряжения на конденсаторе равно 500 В. Найти энергию магнитного поля в катушке в момент времени $T/8$ после начала колебаний.

4.7. Имеется колебательный контур с емкостью C и индуктивностью L . При колебаниях в этом контуре напряжение на обкладках конденсатора достигает максимального значения U_0 . Найти для произвольно выбранного момента времени t связь между мгновенными значениями силы тока i и напряжения на конденсаторе u .

4.8. Колебательный контур состоит из конденсатора емкости C , катушки, индуктивность которой L , а омическое сопротивление ничтожно мало, и выключателя. При разомкнутом выключателе конденсатор зарядили до напряжения U_0 , а затем в момент времени $t = 0$ выключатель замкнули. Найти функцию, выражающую зависимость силы тока i в контуре от времени t , а также значение электродвижущей силы самоиндукции \mathcal{E} в катушке в момент времени, когда энергия электрического поля в конденсаторе равна энергии магнитного поля в катушке.

4.9. В колебательном контуре, изображенном на рис. 4.1, индуктивность катушки $L = 3,5$ мГн, а емкости конденсаторов $C_1 = 2$ мкФ и $C_2 = 3$ мкФ. При разомкнутом ключе

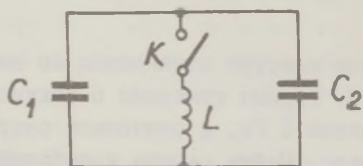


Рис. 4.1.

зарядили конденсаторы до напряжения $U_0 = 180$ В, затем ключ замкнули. Найти период T_0 собственных электромагнитных колебаний, а также амплитудное значение силы тока I_m в катушке.

4.10. В колебательном контуре, состоящем из плоского конденсатора и катушки с ничтожно малым омическим сопротивлением, происходят колебания, энергия которых W . Пластины конденсатора медленно раздвигают до тех пор, пока частота колебаний не уменьшится в η раз. Найти совершаемую при этом работу A .

- 4.11. Индуктивность колебательного контура 10 мГн , емкость его $0,002 \text{ мкФ}$, а омическое сопротивление 14 Ом . Найти логарифмический декремент затухания колебаний в контуре.
- 4.12. Как изменится логарифмический декремент затухания колебаний в контуре, если увеличить число витков катушки в 10 раз, оставив длину и диаметр ее прежними?
- 4.13. Индуктивность колебательного контура $0,23 \text{ Гн}$, емкость его 7 мкФ , а омическое сопротивление 40 Ом . Конденсатору сообщили заряд 560 мкКл . Определить период колебаний, возникших в этом контуре, логарифмический декремент затухания этих колебаний и временную зависимость напряжения на конденсаторе $u(t)$.
- 4.14. Батарею, состоящую из двух одинаковых конденсаторов емкостью 2 мкФ каждый, разряжают через катушку, индуктивность которой 1 мГн , а омическое сопротивление 50 Ом . Возникнут ли в таком контуре колебания независимо от того, как будут соединены конденсаторы (последовательно или параллельно)?
- 4.15. Емкость колебательного контура $0,2 \text{ мкФ}$, а индуктивность его $5,07 \text{ мГн}$. Найти логарифмический декремент затухания колебаний в таком контуре, если известно, что амплитудное значение напряжения на конденсаторе за 1 мс уменьшилось в три раза. Чему равно омическое сопротивление этого контура?
- 4.16. Во сколько раз изменится амплитудное значение напряжения на конденсаторе колебательного контура в течение одного периода, если его индуктивность равна 10 мГн , емкость $0,405 \text{ мкФ}$, а омическое сопротивление 2 Ом ?

4.17.

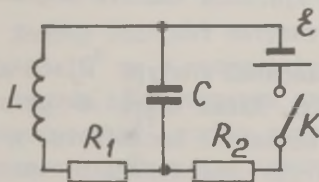


Рис. 4.2.

Контур, изображенный на рис. 4.2, имеет следующие параметры: $R_1 = 1 \text{ Ом}$, $R_2 = 50 \text{ Ом}$, $L = 0,1 \text{ Гн}$, $C = 1 \text{ мкФ}$ и $\mathcal{E} = 1,4 \text{ В}$. Ключ K замыкают и, дождавшись, когда ток в

катушке установится, снова размыкают. Найти энергию, запасенную в колебательном контуре LC , сразу после размыкания ключа (W_0) и в момент времени $t = 0,2$ с после этого (W).

- 4.18. Колебательный контур, индуктивность которого $L = 0,01$ Гн, а омическое сопротивление $R = 0,23$ Ом, возбуждается короткими электрическими импульсами. Какой может быть максимальная частота ν этих импульсов, чтобы возникающие в контуре колебания не перекрывались? Колебания считать полностью затухшими, когда амплитуда становится в 10 раз меньше начальной.
- 4.19. Емкость колебательного контура равна 4 мкФ, индуктивность 0,1 мГн, а омическое сопротивление 2 Ом. Определить добротность Q контура. Какой будет относительная погрешность определения добротности, если вместо точной формулы пользоваться приближенной формулой $Q = \frac{\rho}{R}$, где ρ — волновое сопротивление контура, а R его омическое сопротивление?
- 4.20. Добротность колебательного контура $Q = 5000$, а частота собственных колебаний его $\nu = 2,2$ МГц. В течение какого времени τ амплитудное значение силы тока в этом контуре уменьшится в $\eta = 2$ раз?
- 4.21. Емкость колебательного контура $C = 10$ мкФ, индуктивность его $L = 25$ мГн, а омическое сопротивление $R = 1$ Ом. В течение какого числа N периодов амплитудное значение силы тока в этом контуре уменьшится в e раз?
- 4.22. Добротность колебательного контура $Q = 5$. На сколько процентов отличается круговая частота свободных колебаний этого контура от круговой частоты ω_0 собственных его колебаний?
- 4.23. Частота собственных колебаний контура $\nu_0 = 5$ кГц, а добротность его $Q = 100$. Какая часть χ от запасенной в контуре энергии останется после того, как затухающие колебания в контуре происходили в течение $\tau = 1$ мс?

4.24. В контуре, добротность которого $Q = 50$, а частота собственных колебаний $\nu_0 = 5,5$ кГц, создаются затухающие колебания. В течение какого времени τ энергия, запасенная в контуре, уменьшится в $\eta = 2$ раза?

4.25. Найти круговую частоту свободных колебаний ω контура, изображенного на рис. 4.3, если известны значения емкости C , индуктивности L и омического сопротивления R .

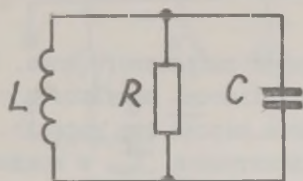


Рис. 4.3.

Какому условию должны удовлетворять C , L и R , чтобы колебания в контуре могли возникнуть?

4.26. Индуктивность катушки колебательного контура L и содержит он конденсатор емкости C , в котором происходит утечка заряда, причем сопротивление его R . Омическое сопротивление катушки и сопротивление проводов ничтожно малы. Найти круговую частоту затухающих колебаний этого контура ω и его добротность Q .

4.27. Индуктивность колебательного контура $L = 5$ мГн, емкость его $C = 5$ мкФ. Найти добротность этого контура Q , если известно, что для поддержания незатухающих колебаний в конденсаторе на уровне амплитудного значения напряжения $U_m = 1$ В, он потребляет мощность, среднее значение которой $P_{cp} = 0,1$ мВт. Затухание колебаний сравнительно невелико.

4.28. Какую мощность должен потреблять в среднем колебательный контур с омическим сопротивлением $0,45$ Ом, чтобы в нем происходили незатухающие колебания с амплитудным значением силы тока 30 мА?

4.29. Контур содержит катушку, индуктивность которой $L = 3 \cdot 10^4$ см и конденсатор емкости $C = 200$ см, а омическое сопротивление его $R = 1$ Ом. Какую среднюю мощность P должен потреблять этот контур, чтобы в нем могли происходить незатухающие колебания с амплитудным значением напряжения на конденсаторе $U_C = 0,5$ В?

Переменный ток

4.30. Переменный ток, выпрямленный с помощью однополупериодного выпрямителя, пропускают через водный раствор медного купороса в течение 10 мин. На электроде за это время выделилось 200 мг меди. Найти амплитудное значение силы тока.

4.31. На рис. 4.4 изображен график импульсного тока. Продолжительность импульса в четыре раза короче его периода. Найти эффективное $I_{эф}$ и среднее $I_{ср}$ значения силы тока, если амплитуда импульсов равна 0,5 А.



Рис. 4.4.

4.32. Найти эффективное значение силы тока $I_{эф}$, если известно ее среднее значение $I_{ср}$, а временная зависимость: а) изображена графически на рис. 4.5; б) $i = |I_m \sin \omega t|$.

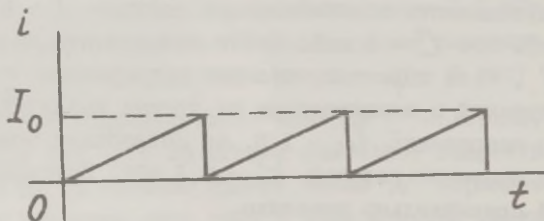


Рис. 4.5.

4.33. пилообразный ток растет линейно в течение 0,8 с от нуля до амплитудного значения 0,1 А, а затем скачкообразно обращается в нуль. Период тока равен 1 с. Найти эффективное $I_{эф}$ и среднее $I_{ср}$ значения силы тока.

4.34. При питании электрической печи постоянным током для поддержания нужной температуры сила тока должна быть равна 5 А. Что должны показывать включенные в цепь этой печи амперметры постоянного и переменного тока

при питании ее переменным током, выпрямленным с помощью однополупериодного выпрямителя, обеспечивающим такую же температуру?

- 4.35. На цепь, показанную схематически на рис. 4.6, подается переменное напряжение. Электромагнитный вольтметр V_1

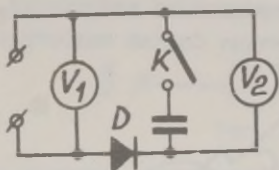


Рис. 4.6.

показывает напряжение 100 В. Что показывает магнитоэлектрический вольтметр V_2 при разомкнутом (\mathcal{U}) и замкнутом (\mathcal{U}') ключе K ? Сопротивлением выпрямителя D в прямом направлении пренебречь.

- 4.36. Для зарядки аккумулятора постоянным током через него надо пропускать ток силой \mathcal{I} в течение 8 часов. Из-за отсутствия источника постоянного напряжения аккумулятор приходится заряжать переменным током через двухполупериодный выпрямитель. Включенный в цепь аккумулятора электродинамический амперметр показывает при этом такую же силу тока \mathcal{I} . Сколько времени должна длиться зарядка в таких условиях?

- 4.37. Магнитоэлектрический вольтметр, включенный на выходе выпрямителя, показывает 100 В. Каково амплитудное значение выпрямляемого напряжения в случае, если выпрямитель а) двухполупериодный, б) однополупериодный?

- 4.38. На рис. 4.7 приведена характеристика двухполупериодного выпрямителя.

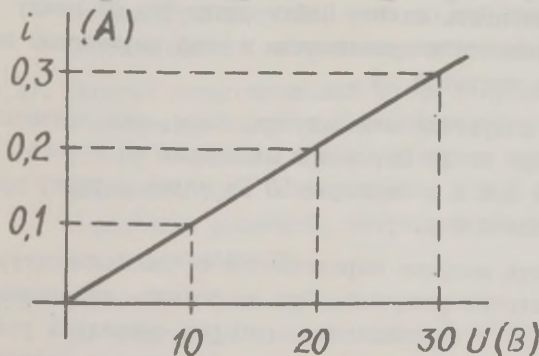


Рис. 4.7.

Сопротивление нагрузки его равно 100 Ом. Найти среднее значение силы тока в выпрямителе и нагрузке, если амплитудное значение электродвижущей силы равно 40 В.

- 4.39. На вход выпрямителя CD , изображенного на рис. 4.8, подается переменное напряжение. На нагрузке сопротивлением R возникает при этом пульсирующее напряжение (убедиться, что ток проходит через резистор в одном направлении). Как зависит напряжение между точками A и B от выпрямляемого переменного напряжения, если сопротивление R значительно больше емкостного сопротивления конденсаторов?

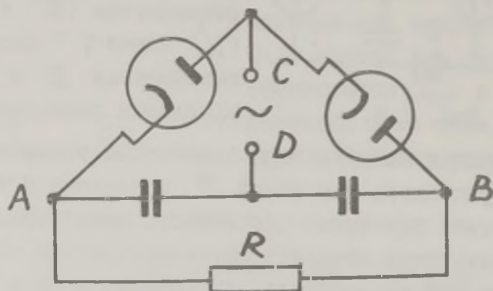


Рис. 4.8.

- 4.40. Какое сопротивление оказывает переменному току частотой 1 кГц реостат, омическое сопротивление которого 100 Ом, длина 50 см, число витков 2000 и площадь витка 15 см²?
- 4.41. Длинный соленоид радиуса a изготовлен из проволоки с очень тонкой изоляцией, удельное сопротивление которой ρ . Витки соленоида плотно прилегают друг к другу, а плотность их n . Найти сдвиг фаз φ между током в соленоиде и приложенным к нему переменным напряжением с частотой ν .
- 4.42. Определить индуктивность катушки, зная, что омическое сопротивление ее 20 Ом, а при включении ее в сеть с напряжением 100 В и частотой 50 Гц через катушку проходит ток силой 2 А.
- 4.43. Индуктивность катушки определяется с помощью контура, изображенного на рис. 4.9. При постоянном напряжении на клеммах a и b показания приборов оказались равными 48 В и 8 А. При переменном напряжении с частотой

50 Гц на этих клеммах показания приборов равны 120 В и 12 А. Определить индуктивность катушки и сдвиг фаз между током в катушке и напряжением на ее клеммах.

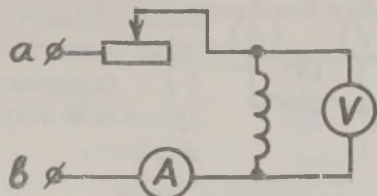


Рис. 4.9.

- 4.44. По катушке, индуктивность которой 15 мГн, а омическое сопротивление 5 Ом, идет ток $i = 10 \sin 500 t$ (сила тока выражена в амперах, время - в секундах). Определить эффективные значения силы тока и напряжения, мощность, потребляемую катушкой, и начертить векторную диаграмму силы тока и напряжения.
- 4.45. В сеть переменного тока частотой 50 Гц включили два дросселя, соединенных последовательно, индуктивности которых равны 22 мГн и 9,6 мГн, а омические сопротивления соответственно 12 Ом и 8 Ом. Сила тока в цепи оказалась равной 5,7 А. Определить мощности, потребляемые каждым дросселем в отдельности и всей цепью в целом. Чему равно напряжение сети?
- 4.46. В сеть переменного тока (110 В, 50 Гц) включена катушка с индуктивностью 0,1 Гн. Определить омическое сопротивление катушки, если по ней идет ток силой 2 А. Какую мощность потребляет катушка в таких условиях?
- 4.47. Реостат сопротивлением 25 Ом и дроссель, индуктивность и омическое сопротивление которого равны 0,1 Гн и 15 Ом, соединены последовательно и включены в сеть переменного тока с напряжением 102 В и частотой 50 Гц. Определить мощности, потребляемые реостатом и дросселем в отдельности.
- 4.48. Дроссель и реостат сопротивлением $Z = 22$ Ом соединены последовательно и включены в сеть переменного тока

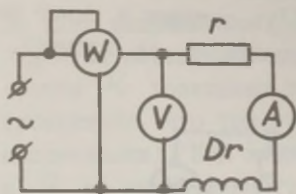


Рис. 4.10.

с частотой 50 Гц так, как это показано на рис. 4.10. Ваттметр показывает 900 Вт. Показания вольтметра и амперметра равны соответственно 220 В и 5 А. Определить параметры дросселя и потребляемую им мощность.

- 4.49. Мощность, выделяющуюся в дросселе, включенном в сеть переменного тока, определяют по показаниям трех вольтметров в схеме изображенной на рис. 4.11. Как вычислить эту мощность P , если известны показания вольтметров (U , U_1 и U_2) и сопротивление резистора R ?

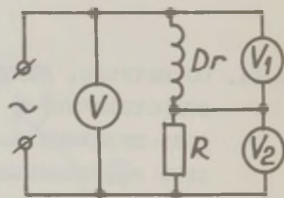


Рис. 4.11.

- 4.50. Конденсатор емкостью 20 мкФ и реостат сопротивлением 150 Ом соединены последовательно и включены в сеть переменного тока (110 В, 50 Гц). Определить напряжение на конденсаторе и на клеммах реостата.
- 4.51. На цепь, состоящую из последовательно соединенных конденсатора и резистора сопротивлением 110 Ом, подается переменное напряжение с амплитудным значением 110 В. В цепи возникает ток, амплитудное значение которого 0,5 А. Найти сдвиг фаз между током и напряжением на концах цепи.
- 4.52. Пространство между обкладками плоского конденсатора заполнено нитробензолом, удельное сопротивление которого 10 Мом·м, а относительная диэлектрическая проницаемость 32. Найти сдвиг фаз между напряжением на обкладках конденсатора и проходящим через него током при частотах 50 Гц и 1000 Гц.
- 4.53. На рис. 4.12 приведена схема простейшего сглаживающего фильтра выпрямителя. Слева на вход подается напряжение $u = U_m(1 + \cos \omega t)$. Найти выражение для мгновенного

значения напряжения u' на выходе и значение RC , при котором амплитудное значение переменной составляющей напряжения в $\eta = 7$ раз меньше постоянной составляющей. Круговая частота переменной составляющей $\omega = 314$ рад/с.

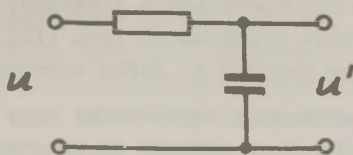


Рис. 4.12.

4.54. Конденсатор емкостью 100 мкФ и резистор сопротивлением 3 Ом, соединенные последовательно, образуют участок цепи, на концы которого подается переменное напряжение $u = 141 \sin 628 t$ (напряжение выражено в вольтах, время в секундах). Определить эффективные значения напряжения и силы тока, найти выражение для мгновенного значения силы тока, вычислить мощность, потребляемую рассматриваемым участком цепи, и начертить векторную диаграмму силы тока и напряжения.

4.55. В сеть переменного тока с амплитудным значением напряжения 440 В и частотой 50 Гц включены нормально горящая лампа накаливания (55 Вт, 110 В) и конденсатор, соединенные последовательно. Найти емкость конденсатора, а также сдвиг фаз между напряжением на концах цепи и идущим по цепи током.

4.56.

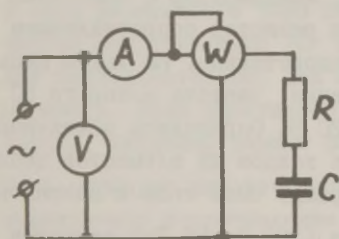


Рис. 4.13.

В цепи, изображенной на рис. 4.13, показание ваттметра равно 325 Вт, а амперметр и вольтметр показывают соответственно 4,2 А и 220 В. Частота переменного тока 50 Гц. Найти сопротивление резистора R и емкость конденсатора C .

4.57. Катушка, индуктивность которой равна 30 мГн, а омическое сопротивление 20 Ом, включена последовательно с

конденсатором емкостью 4 мкФ в сеть переменного тока (220 В, 50 Гц). Определить силу тока в цепи, а также сдвиг фаз между током и напряжением на концах цепи.

- 4.58. Дроссель, омическое сопротивление которого 120 Ом, включен последовательно с конденсатором емкостью 10 мкФ в сеть переменного тока (120 В, 50 Гц). По цепи идет ток силой 1 А. Найти индуктивность дросселя.
- 4.59. Сопротивление цепи переменному току с частотой 50 Гц равно 10 Ом. Цепь состоит из реостата сопротивлением 6 Ом, катушки с индуктивным сопротивлением 16 Ом и конденсатора, соединенных последовательно. Омическое сопротивление катушки ничтожно мало. Определить емкость конденсатора C и его сопротивление X_C переменному току, в предположении, что емкостное сопротивление цепи меньше индуктивного.
- 4.60. Цепь состоит из конденсатора емкостью 22 мкФ и катушки, индуктивность которой 0,35 Гн, а омическое сопротивление 20 Ом, соединенных последовательно. На цепь подается синусоидальное напряжение с круговой частотой 314 рад/с и амплитудным значением 180 В. Найти амплитудное значение силы тока I_m в цепи, сдвиг фаз φ между током и напряжением, а также амплитудные значения напряжения на обкладках конденсатора U_C и на клеммах катушки U_L .
- 4.61. Катушка, индуктивное сопротивление которой $X_L = 12$ Ом, а омическое $R_K = 5$ Ом, конденсатор с емкостным сопротивлением $X_C = 18$ Ом и резистор сопротивлением $R = 3$ Ом, соединены последовательно. На такую цепь подается переменное напряжение, частота которого 50 Гц, а эффективное значение 120 В. Определить эффективное значение напряжения U на каждом из элементов цепи и нарисовать векторную диаграмму силы тока и напряжения.
- 4.62. В сеть переменного тока (220 В, 50 Гц) включили цепь, состоящую из последовательно соединенных конденсатора емкости 18 мкФ, реостата сопротивлением 10 Ом и дросселя, индуктивность которого 0,6 Гн. В дросселе напря-

жение опережает ток по фазе на 60° . Найти активное сопротивление дросселя R_d и мощность P , выделяющуюся в каждом элементе цепи, а также коэффициент мощности всей цепи?

- 4.63. Реостат сопротивлением $10\ \Omega$ и катушка, индуктивность которой $0,1\ \text{Гн}$, а омическое сопротивление ничтожно мало, соединены последовательно и включены в сеть переменного тока ($220\ \text{В}$, $50\ \text{Гц}$). Конденсатор какой емкости C надо подключить последовательно к этой цепи, чтобы сдвиг фаз между током и напряжением в ней обратился в нуль? Найти активную P_a и полную $P_{\text{полн}}$ мощность при обоих включениях.
- 4.64. В сеть переменного тока частотой $50\ \text{Гц}$ включены реостат и катушка, соединенные последовательно. Индуктивность катушки равна $0,1\ \text{Гн}$, а омическое сопротивление ее ничтожно мало. Сдвиг фаз между током в цепи и напряжением на ее концах равен 30° . Найти сопротивление реостата. Конденсатор какой емкости C надо подключить последовательно с катушкой, чтобы сдвиг фаз между током и напряжением на концах цепи обратился в нуль?
- 4.65. Определить потери мощности ΔP в проводах, соединяющих генератор с потребителем, если передаваемая мощность $P = 100\ \text{кВт}$, напряжение на клеммах генератора $U = 220\ \text{В}$, сопротивление проводов $R = 0,01\ \Omega$ и сдвиг фаз между током и напряжением $\varphi = 37^\circ$.
- 4.66. В сеть переменного тока включена цепь, содержащая омическое сопротивление R и реактивное X , соединенные последовательно. Как изменится потребляемая цепью мощность, если реактивное сопротивление заменить омическим, численно равным реактивному?
- 4.67. Цепь образуют реостат сопротивлением $10\ \Omega$, катушка, индуктивное сопротивление которой $50\ \Omega$, и конденсатор с емкостным сопротивлением $30\ \Omega$, соединенные последовательно. На концы цепи подано напряжение $u = 310 \sin 314 t$ (время измеряется в секундах, напряжение в вольтах). Определить эффективное значение силы

тока $I_{\text{эф}}$ в цепи. Найти выражение для мгновенного значения напряжения u на каждом из элементов цепи, а также активную P_a , реактивную P_p и полную мощность P , потребляемую цепью.

- 4.68. Определить частоту, при которой в цепи, описанной в предыдущей задаче, наступит резонанс напряжений. Какими будут при этом эффективные значения силы тока в цепи и напряжения на клеммах конденсатора и катушки?
- 4.69. В контуре, содержащем резистор сопротивлением $R = 20 \text{ Ом}$, катушку с индуктивностью $L = 1 \text{ мГн}$ и конденсатор емкости $C = 0,1 \text{ мкФ}$, соединенные последовательно, действует синусоидальная электродвижущая сила, эффективное значение которой $\mathcal{E} = 30 \text{ В}$. Определить резонансную частоту контура $\omega_{\text{рез}}$. Вычислить эффективные значения силы тока I , а также напряжения u на всех элементах контура в условиях резонанса.
- 4.70. Цепь состоит из конденсатора емкости C , катушки, индуктивность которой L , а омическое сопротивление ничтожно мало, и резистора сопротивлением R . Цепь питают переменным напряжением, амплитудное значение которого постоянно, а частота регулируется. Найти круговую частоту, при которой амплитудное значение напряжения на конденсаторе будет максимальным.
- 4.71. Исходя из условий предыдущей задачи, найти круговую частоту, при которой амплитудное значение напряжения на клеммах катушки будет максимальным.
- 4.72. Два реостата сопротивлением 10 Ом и $25,4 \text{ Ом}$, соединены параллельно и на них подается напряжение $u = 179 \sin 314t$ (напряжение измеряется в вольтах, время в секундах). Найти эффективное значение силы неразветвленного тока I и выражение для мгновенного значения его.
- 4.73. На цепь, изображенную на рис. 4.14, подано переменное напряжение $u = 179 \sin 1256t$ (напряжение измеряется в вольтах, время в секундах). Элементы цепи имеют следующие характеристики: $R = 10 \text{ Ом}$, $L = 20,2 \text{ мГн}$. Определить показания амперметров и найти закон, выра-

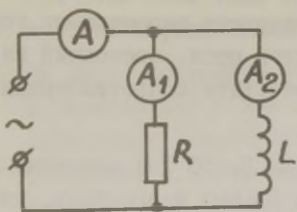


Рис. 4.14.

жающий зависимость мгновенного значения силы тока в неразветвленной части цепи от времени. Сопротивления амперметров и омическое сопротивление катушки ничтожно малы.

- 4.74. Реостат сопротивлением $12,6 \text{ Ом}$ и катушка, индуктивность которой $0,04 \text{ Гн}$, а омическое сопротивление ничтожно мало, соединены параллельно и включены в сеть переменного тока. При какой частоте переменного тока сила тока в ветвях одинакова?

- 4.75. В сеть переменного тока частоты $\gamma = 50 \text{ Гц}$ включили последовательно соединенные реостат $R = 50 \text{ Ом}$ и катушку индуктивности $L = 0,2 \text{ Г}$ ($R_L = 0$). Какими параллельно включенными катушкой L_1 ($R_{L_1} = 0$) и реостатом R_1 можно заменить последовательную цепь, чтобы в цепи сохранился прежний режим (прежний ток и сдвиг фаз между неразветвленным током и напряжением)?

- 4.76. Мощность P , выделяющаяся в дросселе, включенном в сеть переменного тока, определяют с помощью трех амперметров (см. схему на рис. 4.15). Как ее вычислить, если известны показания амперметров I , I_1 и I_2 и значение сопротивления R ?

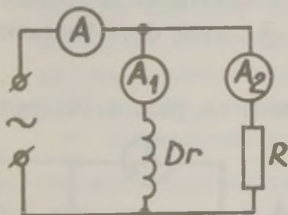


Рис. 4.15.

- 4.77. На цепь, схема которой приведена на рис. 4.16, подается переменное напряжение (380 В , 50 Гц). Каковы показания измерительных приборов, если $R = 30 \text{ Ом}$, и емкостное сопротивление конденсатора $X_c = 30 \text{ Ом}$?

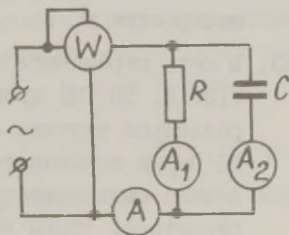
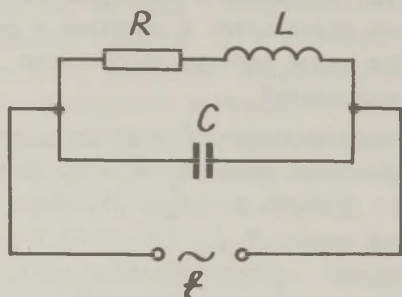


Рис. 4.16.

4.78. Какое сопротивление Z оказывает переменному току с круговой частотой ω участок цепи, состоящий из конденсатора емкостью C и реостата сопротивлением R , соединенных параллельно?

4.79. В сеть переменного тока (127 В, 50 Гц) включены параллельно конденсатор емкости 24 мкФ и дроссель, индуктивность которого 0,6 Гн, а омическое сопротивление 100 Ом. Найти эффективные значения силы тока в конденсаторе и дросселе, а также силу суммарного тока.

4.80.



Найти эффективные значения силы тока I во всех участках цепи, изображенной на рис. 4.17, если $R = 1$ Ом, $L = 1$ мГн, $C = 0,11$ мкФ, $U = 30$ В и $\omega = 10^5$ рад/с.

Рис. 4.17.

4.81. Цепь состоит из катушки ($L = 1$ Гн, $R = 100$ Ом) и конденсатора ($C = 4$ мкФ), соединенных параллельно. Найти полное сопротивление Z этой цепи переменному току ($\nu = 50$ Гц).

4.82. Цепь, схема которой изображена на рис. 4.18, работает в режиме резонанса токов.

Показания амперметров A_0 и A_1 равны соответственно 3 А и 5 А. Чему равно показание амперметра A_2 ?

4.83. В сеть переменного тока (127 В, 50 Гц) включены параллельно катушка (1 Гн, 10 Ом) и конденсатор. Какой должна быть емкость C конденсатора, чтобы возник резонанс токов? Чему равна

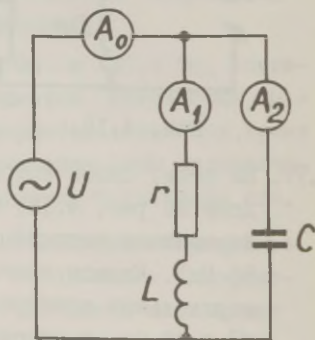


Рис. 4.18.

при этом сила тока \mathcal{I} в катушке и конденсаторе, а также сила неразветвленного тока?

- 4.84. На цепь, состоящую из конденсатора переменной емкости и параллельно с ним соединенного соленоида, подается переменное напряжение (120 В, 50 Гц). Индуктивность соленоида 1,5 Гн, омическое сопротивление его пренебрежимо мало. Минимальное значение силы неразветвленного тока равно 0,01 А. Найти емкость конденсатора C и сопротивление цепи Z в условиях резонанса.
- 4.85. На цепь, состоящую из дросселя (1 мГн, 3 Ом) и параллельно с ним соединенного конденсатора (1 мкФ), подается переменное напряжение 220 В. Найти частоту ν , при которой значение силы неразветвленного тока минимально, а также силу тока \mathcal{I} в дросселе и конденсаторе при этой частоте.

Электромагнитные волны

- 4.86. Электромагнитная волна с частотой 3 МГц переходит из вакуума в диэлектрик, относительная проницаемость которого $\epsilon = 4$. Найти прирост длины волны $\Delta\lambda$.
- 4.87. Плоская электромагнитная волна падает нормально на плоскую пластину из диэлектрика толщиной d . Относительная диэлектрическая проницаемость пластины уменьшается экспоненциально от значения ϵ_1 на передней до значения ϵ_2 на задней ее поверхности. Найти время τ прохождения волны через пластину.
- 4.88. Плоская электромагнитная волна, частота которой $\nu = 10$ МГц, распространяется в среде, плохо проводящей электричество. Удельная проводимость среды $\sigma = 1$ мСм/м, относительная диэлектрическая проницаемость ее $\epsilon = 9$. Найти отношение амплитудных значений сил тока проводимости \mathcal{I}_{np} и тока смещения $\mathcal{I}_{см}$, вызванных этой волной.
- 4.89. Плоская электромагнитная волна $\vec{E} = \vec{E}_m \cos[\omega t - (\vec{k}, \vec{r})]$ распространяется в вакууме. Предполагая, что векторы

\vec{E}_m и \vec{k} известны, найти зависимость вектора \vec{H} от времени t для точки $\vec{r} = 0$.

- 4.90. В вакууме распространяется плоская электромагнитная волна $\vec{E} = \vec{E}_m \cos[\omega t - (\vec{k}, \vec{r})]$, где $\vec{E}_m = E_m \vec{e}_y$ и $\vec{k} = k \vec{e}_x$; \vec{e}_x и \vec{e}_y суть единичные векторы координатных осей x и y . Найти вектор \vec{H} в точке, радиус-вектор которой $\vec{r} = z \vec{e}_x$, в момент времени: а) $t = 0$, б) $t = t_0$. Рассмотреть случай, когда $E_m = 160$ В/м, $k = 0,51$ 1/м, $\lambda = 7,7$ м и $t_0 = 33$ нс.
- 4.91. Как распределяются амплитуды собственных колебаний напряжения и тока в открытой двухпроводной линии длиной ℓ ? Найти частоты этих колебаний. Потерями энергии в линии пренебречь.
- 4.92. Как распределяются амплитуды собственных колебаний напряжения и тока в закороченной двухпроводной линии длиной ℓ ? Найти частоты этих колебаний. Потери энергии в линии считать пренебрежимо малыми.
- 4.93. Как распределяются амплитуды собственных колебаний напряжения и тока в двухпроводной линии длиной ℓ , открытой с одного и закороченной с другого конца? Потери энергии в линии не учитывать.
- 4.94. Найти волновое сопротивление ρ двухпроводной линии, если диаметр проводов $d = 4$ мм, а расстояние между проводами $D = 10$ см. Потери энергии в линии не учитывать.
- 4.95. Найти индуктивность L , емкость C и волновое сопротивление ρ двухпроводной воздушной линии длиной $\ell = 40$ м с диаметром проводов $d = 3$ мм и расстоянием между ними $D = 15$ см.
- 4.96. Двухпроводную линию образует двужильный кабель (см. рис. 4.19), размеры которого $D = 20$ мм и $d = 4$ мм. Относительная проницаемость диэлектрика $\epsilon = 4$. Найти волновое сопротивление кабеля ρ .

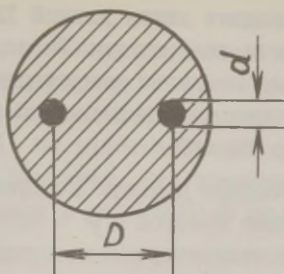


Рис. 4.19.

- 4.97. Найти волновое сопротивление ρ коаксиального кабеля с воздушным диэлектриком, если диаметр жилы $d = 8$ мм, а диаметр оболочки $D = 40$ мм. Потери энергии в кабеле не учитывать.
- 4.98. Найти скорость распространения электромагнитных волн в коаксиальном кабеле с относительной проницаемостью диэлектрика $\epsilon = 4,5$. Потерями энергии в кабеле пренебречь.
- 4.99. Воздух, заполнявший пространство между жилой и оболочкой в коаксиальном кабеле, заменили другим диэлектриком, вследствие чего скорость распространения электромагнитных волн в кабеле уменьшилась на 25 %. Найти относительную проницаемость ϵ диэлектрика.
- 4.100. Найти период собственных колебаний T в открытой с обоих концов двухпроводной линии длиной ℓ , расположенной в воде. Потери энергии не учитывать.
- 4.101. Два длинных параллельных провода расположены в бензоле и с одного конца индуктивно связаны с генератором высокой частоты. При частоте $\nu = 100$ МГц в параллельных проводах возникают стоячие волны. Перемещая вдоль проводов газоразрядную лампочку, один из электродов которой был соединен с одним, а другой с другим проводом, по свечению лампочки установили расстояние между двумя соседними пучностями напряженности электрического поля $\Delta x = 1$ м. Найти относительную диэлектрическую проницаемость бензола ϵ .

- 4.102. Открытая двухпроводная линия длиной 12 м резонирует на основную частоту генератора. Во сколько раз отличаются амплитудные значения напряжения U и силы тока I от максимальных их значений на расстоянии $x = 5$ м от конца линии?
- 4.103. Открытую двухпроводную длинную воздушную линию, волновое сопротивление которой $\rho = 500$ Ом, питают от высокочастотного генератора с частотой $\nu = 200$ МГц. Амплитудное значение напряжения в конце линии $U_m = 1000$ В. Найти амплитудные значения силы тока I_x и напряжения U_x в точке линии, находящейся от ее конца на расстоянии $x = 1$ м.
- 4.104. Найти наименьшее значение частоты ν , на которую будет резонировать коаксиальный кабель длиной $l = 12$ м, открытый с одного конца, если относительная проницаемость его диэлектрика $\epsilon = 4,5$, а с другого конца кабель питает источник переменного тока с ничтожно малым внутренним сопротивлением.
- 4.105. Найти волновое сопротивление ρ коаксиального кабеля, зная диаметр его жилы $d = 2$ мм, внутренний диаметр оболочки $D = 12$ мм и относительную проницаемость диэлектрика $\epsilon = 2,4$. Потери энергии в кабеле считать ничтожно малыми.
- 4.106. Найти входное сопротивление идеальной (без потерь) двухпроводной воздушной линии, открытой с одного конца, на частоте 50 МГц, если линию образуют провода диаметром $2\psi = 2$ мм с расстоянием между ними $d = 12$ мм. Длина линии может быть $l_1 = 2$ м; $l_2 = 3$ м; $l_3 = 3,5$ м; $l_4 = 7,5$ м. Определить для всех случаев характер сопротивления (сопротивление емкостное или индуктивное).
- 4.107. Длина двухпроводной открытой воздушной линии 2 м, расстояние между проводами 10 см, диаметр проводов 3 мм. Найти входное сопротивление этой линии генератору, работающему на длине волны 1,5 м.

- 4.I08. Провода, описанные в задаче 4.I06, закорочены металлическим стержнем – мостом, который можно перемещать вдоль проводов. Найти зависимость входного сопротивления Z от расстояния l между началом линии и мостом. Выяснить, как изменяется характер этого сопротивления в зависимости от местоположения моста.
- 4.I09. Длина закороченной двухпроводной воздушной линии равна 2 м, расстояние между проводами 10 см, диаметр проводов 3 мм. Определить входное сопротивление этой линии генератору, работающему на длине волны 1,5 м,
- 4.I10. Длина закороченной двухпроводной воздушной линии равна 0,8 м, расстояние между проводами 10 см, диаметр проводов 3 мм. Какова индуктивность этой линии при питании ее от генератора, работающего на длине волны 4 м?
- 4.I11. Закороченную двухпроводную воздушную линию длиной 2 м питают от генератора, работающего на частоте 600 МГц. Какое сопротивление Z оказывает эта линия генератору, если расстояние между проводами линии равно 10 см, а диаметр проводов 3 мм?
- 4.I12. Идеальная (без потерь) двухпроводная воздушная линия длиной 5 м имеет на одном конце нагрузку в виде конденсатора емкостью 20 пФ. Диаметр проводов равен 4 мм, расстояние между ними 4 см. Найти входное сопротивление Z этой линии на частоте 75 МГц.
- 4.I13. Длина двухпроводной воздушной линии $l = 5$ м, диаметр проводов 3 мм, расстояние между ними 6 см. Погонное омическое сопротивление проводов $R_l = 0,2$ Ом/м. Определить входное сопротивление линии при условии, что другой конец ее: а) закорочен; б) открыт.
- 4.I14. Идеальная (без потерь) двухпроводная воздушная линия длиной $l = 18$ м имеет нагрузку в виде резистора сопротивлением $Z = 80$ Ом. Волновое сопротивление линии $\rho = 400$ Ом. Найти входное сопротивление Z ее на длинах волн: а) 8 м, б) 9 м.

- 4.II5. Найти входное сопротивление Z линии, описанной в предыдущей задаче, при условии, что омическое сопротивление ее нагрузки $\gamma = 400 \text{ Ом}$.

Вектор Пойнтинга

- 4.II6. На рис. 4.20 изображен участок двухпроводной линии постоянного тока. Направление тока показано стрелками. Зная, что потенциалы удовлетворяют условию $\varphi_2 > \varphi_1$, определить с помощью вектора Пойнтинга, где находится источник тока (слева или справа).

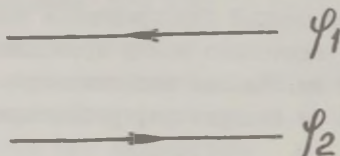


Рис. 4.20.

- 4.II7. Одна пара концов идеальной (без тепловых потерь) двухпроводной линии присоединена к клеммам источника постоянного тока, другая пара соединена через резистор, являющийся нагрузкой линии. Показать, что вектор Пойнтинга в пространстве между проводами направлен вдоль проводов в сторону нагрузки. Как изменится направление вектора Пойнтинга, если принять во внимание сопротивление проводов?
- 4.II8. Одна пара концов двухпроводной линии, описанной в предыдущей задаче, присоединена к клеммам генератора синусоидального напряжения. Напряжение и ток в линии находятся в одной фазе. Показать, что вектор Пойнтинга в пространстве между проводами всегда направлен вдоль проводов в сторону нагрузки на другом конце линии.
- 4.II9. В линии, описанной в предыдущей задаче, ток отстает по фазе от напряжения на 90° . Показать, что в таком случае вектор Пойнтинга в пространстве между проводами меняет направление на обратное через каждые четверть периода, вследствие чего поток энергии за

период равен нулю (стоячая волна).

- 4.120. По длинному прямому цилиндрическому проводу идет постоянный ток. Определить для произвольной точки боковой поверхности провода компоненту вектора Пойнтинга, обусловленную тангенциальной компонентой вектора \vec{E} , и показать, что произведение вектора Пойнтинга и площади боковой поверхности провода равно мощности, выделяющейся в проводе.
- 4.121. Покажите, что электрическая энергия поглощающаяся в проводе при прохождении по нему тока и идущая на его нагревание, берется из окружающего провод электромагнитного поля.
- 4.122. Показать, что энергия, переносимая электромагнитной волной через поперечное сечение коаксиального кабеля, равна энергии, которую вводит в кабель в течение такого же промежутка времени питающий его источник тока.
- 4.123. Плоский конденсатор, обкладками которого являются два одинаковых диска, зарядили до высокого напряжения и затем отключили от источника напряжения. Вдоль оси конденсатора возникает искровой разряд, в результате чего конденсатор разряжается. Считая разряд квазистационарным и пренебрегая неоднородностью поля у краев конденсатора, определить испущенный конденсатором поток электромагнитной энергии Φ .
- 4.124. Конденсатор емкости C имеет в качестве обкладок два одинаковых диска. Конденсатору сообщили заряд и затем отключили от источника напряжения. После этого соединили обкладки между собой через длинный цилиндрический проводник, расположенный вне конденсатора. Пренебрегая неоднородностью поля у краев конденсатора, показать непосредственным вычислением, что поток электромагнитной энергии, испущенный конденсатором, равен полному потоку энергии, входящему в проводник.

- 4.125. Длина плоской электромагнитной волны 100 м, а амплитудное значение электрического компонента ее 5 мВ/м. Какое количество энергии перенесет эта волна за 10 мин через площадь в 1 м^2 , перпендикулярную направлению распространения волны.
- 4.126. Какое количество энергии W перенесет синусоидальная электромагнитная волна за время $\tau = 1$ мин через площадку $S = 10 \text{ см}^2$, перпендикулярную направлению распространения волны, если амплитудное значение ее электрического компонента $E_m = 1 \text{ мВ/м}$. Период колебаний волны $T \ll \tau$.

ОТВЕТЫ

I.1. 9 кН.

I.2. 3,87 кг.

I.3. $4 \cdot 10^{42} (1 \cdot 10^{36})$; $8,6 \cdot 10^{-11}$ Кл/кг.

I.4. $2 \cdot 10^{15}$ Н.

I.5. 3,3 Мм/с.

I.7. На отрезке прямой, соединяющей заряды q_1 и q_2 , на расстоянии $\frac{d\sqrt{q_1}}{\sqrt{q_1} + \sqrt{q_2}} = 20$ см от заряда q_1 .

I.8. а) $Q = -\frac{\sqrt{3}}{3}q$; б) $Q = -\frac{2\sqrt{2+1}}{4}q$.

I.9. 25 нКл.

I.10. 33 нКл.

I.11. На прямой, проходящей через заряды q_1 и q_2 , на расстоянии $\frac{\sqrt{q_1}}{\sqrt{q_1} \pm \sqrt{q_2}} d$ от заряда q_1 .

I.12. 144 кВ/м.

I.13. $y = \pm \frac{d\sqrt{2}}{4} = \pm 3,5$ см, где y - координата точки относительно центра зарядов.

I.14. 67 кВ/м.

I.15. 16,7 кВ/м.

I.16. 246 В/м.

I.17. 120 кВ/м.

I.18. $\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left[\frac{3(\vec{p}, \vec{r})}{r^5} - \frac{\vec{p}}{r^3} \right]$, где \vec{p} - электрический момент диполя, а \vec{r} - радиус-вектор точки относительно средней точки диполя.

I.19. $E = \frac{v}{2\pi\epsilon_0 r}$.

I.20. $r \leq \frac{1}{1-\delta} \sqrt{\frac{\delta}{2}} = 4,18$ см.

I.21. $E = \frac{v\ell}{2\pi\epsilon_0 a \sqrt{4a^2 + \ell^2}}$.

$$I.22. E = \frac{\tau \sqrt{2}}{4\pi \epsilon_0 a}.$$

$$I.23. E = \frac{q}{4\pi \epsilon_0 l(l+a)}.$$

$$I.24. \mathcal{F} = \frac{\tau q l}{2\pi \epsilon_0 a \sqrt{l^2 + 4a^2}} = 1,27 \text{ мкН}.$$

$$I.25. 8,1 \text{ Н/м}.$$

$$I.26. E = \frac{2\tau d}{\pi \epsilon_0 (4x^2 + d^2)}.$$

$$I.27. 3,12 \text{ МВ/м}.$$

$$I.28. E_{\max} = \frac{\tau}{\pi \epsilon_0 a}.$$

$$I.29. 69,9 \text{ кВ/м}.$$

$$I.30. 38 \text{ кВ/м}.$$

$$I.31. \text{ а) } 0; \text{ б) } 10 \text{ кВ/м}; \text{ в) } 23 \text{ кВ/м};$$

$$I.32. \mathcal{F} = \frac{q\tau}{4\pi \epsilon_0 R}.$$

$$I.33. E = \frac{q}{2\pi \epsilon_0 R^2}.$$

$$I.34. E = \frac{\tau_0}{4\epsilon_0 R}.$$

$$I.35. \text{ а) } E = \frac{\tau \sqrt{2}}{4\pi \epsilon_0 R}; \text{ б) } E = 0.$$

$$I.36. E = \frac{\sigma}{2\pi \epsilon_0} \ln \frac{R_2}{R_1} = 19 \text{ кВ/м}.$$

$$I.37. E = \frac{q}{2\pi \epsilon_0 R^2} \left(1 - \frac{h}{\sqrt{h^2 + R^2}} \right).$$

$$I.38. h \leq R \delta = 1,25 \text{ см}.$$

$$I.39. E = \frac{\sigma h}{2\epsilon_0 \sqrt{h^2 + R^2}}.$$

$$I.41. \text{ а) } E = 0; \text{ б) } E = \frac{q}{\epsilon_0 S}.$$

$$I.42. \sigma_1 = 35,4 \text{ нКл/м}^2; \quad \sigma_2 = 17,7 \text{ нКл/м}^2.$$

$$I.43. E = \frac{\sigma \sqrt{5}}{2\epsilon_0}.$$

$$I.44. 5,65 \text{ кВ/м}; 9,80 \text{ кВ/м}.$$

$$I.45. 3,4 \text{ Н/м}.$$

$$I.46. 3 \text{ нКл}.$$

$$I.47. \vec{E} = \frac{5}{4\epsilon_0} \cdot$$

$$I.48. \mathcal{F} = \frac{q^2}{32\pi\epsilon_0 R^2}.$$

$$I.49. \mathcal{F} = \frac{q(q+2q_0)}{32\pi\epsilon_0 R^2}.$$

$$I.50. 9,36 \cdot 10^{-26} \text{ Нм}.$$

$$I.51. \mathcal{F} = \frac{p_0 q}{2\pi\epsilon_0 r^3} = 0,6 \text{ мН}.$$

$$I.52. 0,45 \text{ мН}.$$

$$I.53. \mathcal{F} = \frac{3\alpha p_0^2}{4\pi^2\epsilon_0 r^7}.$$

$$I.54. \text{ а) } 39 \text{ пм; б) } 4,12 \text{ МВ/м; } 2,06 \text{ МВ/м;}$$

$$\text{ в) } 6,6 \cdot 10^{-13} \text{ Н; } 3,3 \cdot 10^{-13} \text{ Н; } 10^{-21} \text{ Нм; } 0.$$

$$I.55. \chi = 0 \text{ и } \chi = \frac{R}{\sqrt{2}} \text{ отвечает } \mathcal{F} = 0; \text{ при } \chi = 1,1 R \text{ максимальная сила отталкивания; при } \chi = 0,29 R \text{ максимальная сила притяжения.}$$

$$I.56. \Phi = \frac{qh}{\epsilon_0}.$$

$$I.57. \Phi = \frac{q}{\epsilon_0} \left[1 - \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{R}{a}\right)^2}} \right].$$

$$I.58. \Phi = \frac{qR}{2\epsilon_0}.$$

$$I.59. R > 55 \text{ м}.$$

$$I.60. \text{ а) } 0; \text{ б) } 270 \text{ кВ/м; в) } -450 \text{ кВ/м}.$$

$$I.61. E_1 = \frac{\rho_0 r_1}{3\epsilon_0} = 88 \text{ кВ/м; } E_2 = \frac{\rho_0 R^3}{3\epsilon_0 r_2^2} = 78 \text{ кВ/м}.$$

$$I.62. \text{ Внутри шара } E = \frac{\rho_0 r}{3\epsilon_0} \left(1 - \frac{3r}{4R} \right); E_{\max} = \frac{\rho_0 R}{9\epsilon_0};$$

$$r_m = \frac{2R}{3}; \text{ вне шара } E = \frac{\rho_0 R^3}{12\epsilon_0 r^2}.$$

$$I.63. \text{ Электрическое поле внутри полости однородно: } \vec{E} = \frac{\rho_0 \vec{r}}{3\epsilon_0}.$$

$$I.64. \text{ Электрическое поле однородно: } \vec{E} = \frac{\rho_0 \vec{r}}{3\epsilon_0}.$$

I.65. $\vec{D} = 3\epsilon_0 \vec{E} \sin \vartheta$. Вне сферы поле совпадает с полем диполя, находящегося в середине сферы. Электрический момент этого диполя $\vec{p} = -4\pi\epsilon_0 R^3 \vec{E}$.

I.66. а) $E = \frac{p r}{2\epsilon_0}$; б) $E = \frac{p R^2}{2\epsilon_0 r}$.

I.67. $E_1 = \frac{p r_1}{2\epsilon_0} = 0,6\pi$ МВ/м; $E_2 = \frac{p R^2}{2\epsilon_0 r_2} = 0,6\pi$ МВ/м.

I.68. Электрическое поле внутри полости однородно:

$\vec{E} = \frac{p \vec{z}}{2\epsilon_0}$, где вектор \vec{z} направлен в сторону оси полости.

I.69. $F = \frac{r^2 h}{4\pi^2 \epsilon_0 R}$.

I.70. а) 45 кВ/м; б) 0; в) 75 кВ/м.

I.71. а) 0,9 мДж; б) 0,89 мДж.

I.72. $A = \frac{q_0}{2} \sqrt{\frac{q}{\pi \epsilon_0}} (\sqrt{E_M} - \sqrt{E_N}) = 72$ нДж.

I.73. 13 мкДж.

I.74. $v_{min} = \frac{q_1 q_2 (m_1 + m_2)}{2\pi \epsilon_0 m_1 m_2 v^2}$

I.75. 6 мкм.

I.76. $v_{min} = \frac{11 e^2}{\pi \epsilon_0 m v^2} = 6 \cdot 10^{-15}$ м.

I.77. 0,57 мм; 1,33 мм/с.

I.78. 1 мкКл/м.

I.79. 47 мкДж.

I.80. $A = \frac{1}{\epsilon_0} \vec{D}_1 R_1 \ln \frac{R_2}{R_1} = 14,6$ мДж; $F = \frac{q_1 (R_1 \vec{D}_1 + R_2 \vec{D}_2)}{\epsilon_0 (R_2 + h)} = 4,1$ Н.

I.81. $A = - \frac{p_2 q}{4\pi \epsilon_0 R^2}$.

$$\text{I.82. } \varphi = \frac{q(6 + \sqrt{3})}{6\pi\epsilon_0 a} = 7,7 \text{ кВ.}$$

$$\text{I.83. а) } 30 \text{ кВ/м; } 3,75 \text{ МВ/м; б) } -1,8 \text{ кВ.}$$

$$\text{I.84. } R = \frac{nd}{n^2 - 1}; \quad a = \frac{d}{n^2 - 1}.$$

$$\text{I.86. } \varphi = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 \ell} \ln \frac{a + \ell}{a}.$$

$$\text{I.87. а) } \varphi = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 \sqrt{n^2 + R^2}}; \quad \text{б) } E = \frac{qn}{4\pi\epsilon_0 (n^2 + R^2)^{3/2}}.$$

$$\text{в) } \varphi_0 = 3 \text{ кВ; } \varphi_n = 1,34 \text{ кВ.}$$

$$\text{I.88. } \Delta\varphi = \frac{q}{2\pi\epsilon_0 R} \left(1 - \frac{R}{\sqrt{R^2 + a^2}}\right).$$

$$\text{I.89. } \varphi = \frac{q}{2\pi\epsilon_0 (R_1 + R_2)} = 18 \text{ кВ.}$$

$$\text{I.90. } \varphi = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} (\sqrt{n^2 + R^2} - n).$$

$$\text{I.91. } 7,5 \text{ мкКл; } 450 \text{ кВ.}$$

$$\text{I.92. } 15 \text{ см.}$$

$$\text{I.93. } 2 \cdot 10^{10}; \quad 2 \cdot 10^{-17} \text{ з.}$$

$$\text{I.94. } 2,9 \text{ В.}$$

$$\text{I.95. } 0,59 \text{ мкКл; } 830 \text{ МВ.}$$

$$\text{I.96. } -210 \text{ нКл.}$$

$$\text{I.97. } R = 1 \text{ м.}$$

$$\text{I.98. } \varphi = \frac{\rho(3R^2 - r^2)}{6\epsilon_0}, \text{ где } r - \text{расстояние точки от центра шара.}$$

$$\text{I.99. } \Delta\varphi \approx \frac{d}{R} \sqrt{\frac{mg}{\pi\epsilon_0}} = 38 \text{ кВ.}$$

$$\text{I.100. } \Delta\varphi = \frac{\sigma r_2}{\epsilon_0}; \quad \Delta\varphi' = \frac{\sigma |r_2 - r_1|}{\epsilon_0}.$$

$$\text{I.101. } 52 \text{ мкДж.}$$

$$\text{I.102. } U_{12} = 75,4 \text{ В; } U_{25} = 226 \text{ В.}$$

$$\text{I.103. а) } 11,3 \text{ кВ/м; б) } 5,65 \text{ кВ/м; в) } 56,5 \text{ В; г) } 4,46 \text{ МВ/с.}$$

I.I04. 750 В; 0; $\frac{150}{z^2}$ (В/м); $\frac{300}{z^2}$ (В/м); где $z(\mu)$ - расстояние точки от центра шара.

I.I05. $E_1 = \frac{U}{R_1 \ln \frac{R_2}{R_1}} = 25 \text{ кВ/м}; E_2 = 0.$

I.I06. $U = \frac{\sigma_1 R_1}{\epsilon_0} \ln \frac{R_2}{R_1} = 185 \text{ В}; E = \frac{R_1 \sigma_1 + R_2 \sigma_2}{\epsilon_0 z} = \frac{12}{z} \text{ (кВ/м)},$ где $z(\mu)$ - расстояние точки от оси цилиндров.

I.I07. $\Delta\varphi = \frac{q}{2\pi\epsilon_0 R} = 5,4 \text{ кВ}.$

I.I08. 228 В.

I.I09. $E = ax$. Такая формула справедлива для электрического поля в равномерно заряженном слое, перпендикулярном оси x , при объемной плотности заряда $\rho = \epsilon_0 a$.

I.II0. $\rho = 6\epsilon_0 ax$.

I.II1. $\rho = 6\epsilon_0 a$.

I.II2. $\varphi = -y(ax + bz) + \text{const}.$

I.II3. $\varphi = ay(\frac{y^2}{3} - x^2) + \text{const}.$

I.II4. $\varphi = -axy + \text{const}.$

I.II5. а) $\vec{E} = -2ax\vec{i} + 2ay\vec{j}$; б) $\vec{E} = -a(y\vec{i} + x\vec{j}).$

I.II6. $\vec{E} = -2(ax\vec{i} + ay\vec{j} + bz\vec{k}), E = 2\sqrt{a^2(x^2 + y^2) + b^2z^2};$
 а) эллипсоид вращения с полуосями $\sqrt{\varphi/a}$ и $\sqrt{\varphi/b}$; б) при $\varphi > 0$ однополостный гиперболоид; при $\varphi = 0$ круговой конус; при $\varphi < 0$ двуполостный гиперболоид.

I.II7. $U = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{2\epsilon_0} (d_0 + \frac{1-\epsilon}{\epsilon} d) = 1410 \text{ В}.$

а) $E_0 = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{2\epsilon_0} = 188 \text{ кВ/м};$ б) $E = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{2\epsilon_0 \epsilon} = 94 \text{ кВ/м}.$

I.II8. 1750 В.

I.II9. 0,106 мКл/м².

$$\text{I.I20. } 20 \text{ мКл/м}^2; 13,8 \text{ мКл/м}^2; 2,5 \text{ мКл.}$$

$$\text{I.I21. а) внутри шара } E = \frac{\rho r}{3\epsilon_0 \epsilon}; \text{ вне шара } E = \frac{\rho R^3}{3\epsilon_0 r^2};$$

$$\text{б) } \rho_{\text{пол}} = -\frac{(\epsilon-1)\rho}{\epsilon}; \quad \sigma_{\text{пол}} = \frac{\epsilon-1}{3\epsilon} \rho.$$

$$\text{I.I22. } E = \frac{\rho h}{4\epsilon_0 R}.$$

$$\text{I.I23. } 53 \text{ нКл/м}^2.$$

$$\text{I.I24. } \sigma_{\text{пол max}} = \epsilon_0 (\epsilon-1) E = 3,5 \text{ нКл/м}^2;$$

$$q_{\text{пол}} = \pi R^2 \epsilon_0 (\epsilon-1) E = 10 \text{ нКл.}$$

$$\text{I.I25. а) } \vec{E} = -\frac{\vec{P}}{3\epsilon_0}; \quad \text{б) } \vec{E} = \frac{V}{4\pi\epsilon_0} \left[\frac{3(\vec{P}, \vec{r})}{r^3} \vec{r} - \frac{\vec{P}}{r^3} \right].$$

$$\text{I.I26. } \vec{E}_0 = \frac{\epsilon+2}{3} \vec{E}.$$

$$\text{I.I27. } \vec{E} = \frac{3\vec{E}_0}{\epsilon+2}; \quad \vec{P} = \frac{3\epsilon_0(\epsilon-1)}{\epsilon+2} \vec{E}.$$

$$\text{I.I28. } \vec{E} = \frac{2\vec{E}_0}{\epsilon+1}; \quad \vec{P} = \frac{2\epsilon_0(\epsilon-1)}{\epsilon+1} \vec{E}.$$

$$\text{I.I29. } E = 5,2 \text{ В/м}; \quad \beta = 76,1^\circ; \quad \sigma_{\text{пол}} = 66 \text{ пКл/м}^2.$$

$$\text{I.I30. } \oint (\vec{E}, d\vec{S}) = \frac{(\epsilon-1)\pi R^2 E_0 \cos \beta}{\epsilon}.$$

$$\text{I.I31. } q_i = \pm \epsilon_0 \vec{E} S.$$

$$\text{I.I32. } q_i = \pm \frac{q}{2}.$$

$$\text{I.I33. На стороне пластины } B, \text{ обращенной к пластине } A, \\ q = 1 \text{ мКл, на противоположной ее стороне } q' = \\ = 3 \text{ мКл.}$$

$$\text{I.I34. } \sigma_1 = \sigma_4 = \frac{2}{3} \cdot 10^5 \text{ Кл/м}^2; \quad \sigma_2 = -\frac{1}{3} \cdot 10^5 \text{ Кл/м}^2;$$

$$\sigma_3 = -\frac{1}{3} \cdot 10^5 \text{ Кл/м}^2; \quad \text{при } q_2 = -q_1, \quad \sigma'_1 = \sigma'_4 = 0,$$

$$\sigma'_2 = \frac{q}{S} \text{ и } \sigma'_3 = \frac{q}{S}, \text{ где } q = |q_1| = |q_2|.$$

$$\text{I.I35. а) При } q = \text{const. } E = \frac{U}{d};$$

$$\vec{D}_{1C} = \vec{D}_{1D} = -\varepsilon_0 \frac{U}{d}; \quad \vec{D}_{2C} = \vec{D}_{2D} = \varepsilon_0 \frac{U}{d};$$

$$U_{AC} = U_{CD} = U_{DB} = \frac{U}{3}.$$

После кратковременного закорачивания пластин C и D

$$\vec{D}_{2C} = \vec{D}_{1D} = 0; \quad \vec{D}_{1C} = -\varepsilon_0 \frac{U}{d}; \quad \vec{D}_{2D} = \varepsilon_0 \frac{U}{d};$$

$$U_{AC} = U_{DB} = \frac{U}{3}; \quad U_{CD} = 0.$$

$$\text{б) При } U = \text{const } E = \frac{U}{d};$$

$$\vec{D}_{1C} = \vec{D}_{1D} = -\varepsilon_0 \frac{U}{d}; \quad \vec{D}_{2C} = \vec{D}_{2D} = \varepsilon_0 \frac{U}{d};$$

$$U_{AC} = U_{CD} = U_{DB} = \frac{U}{3}.$$

После кратковременного закорачивания пластин C и D

$$\vec{D}_{2C} = \vec{D}_{1D} = 0; \quad \vec{D}_{2D} = \vec{D}_A = \varepsilon_0 \frac{3}{2} \frac{U}{d}; \quad \vec{D}_{1C} = \vec{D}_B = -\varepsilon_0 \frac{3}{2} \frac{U}{d}$$

$$U_{AC} = U_{DB} = \frac{U}{2}; \quad U_{CD} = 0.$$

$$\text{I.I36. а) } E_{23} = \frac{\Delta\varphi}{d}; \quad E_{12} = E_{31} = \frac{1}{2} E_{23};$$

$$\text{б) } |\vec{D}_1| = \vec{D}_4 = \frac{1}{2} \varepsilon_0 \frac{\Delta\varphi}{d}; \quad \vec{D}_2 = |\vec{D}_3| = \frac{3}{2} \varepsilon_0 \frac{\Delta\varphi}{d}.$$

$$\text{I.I37. } 135 \text{ кВ/м; } 5,4 \text{ кВ/м; } 9,45 \text{ кВ.}$$

$$\text{I.I38. } \varphi_1 = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0} \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right); \quad \varphi_2 = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0 R_3};$$

$$\varphi_1' = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0} \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right); \quad \varphi_2' = 0.$$

$$\text{I.I39. } 200 \text{ В.}$$

I.I40. В точках A и B напряженность поля $3\vec{E}$; в точках C и D напряженность поля равна нулю.

$$\text{I.I41. } \rho = \frac{q^2}{32\pi^2 \varepsilon_0 R^4}.$$

$$\text{I.I42. } q = \frac{Q}{2}.$$

I.I43. Увеличится в два раза.

$$\text{I.I44. а) } -0,88 \text{ мКл/м}^2; \quad -0,19 \text{ мКл/м}^2; \quad б) -5 \text{ нКл.}$$

$$\text{I.I45. } \sigma = \frac{qh}{2\pi(h^2 + r^2)^{3/2}}.$$

$$\text{I.I46. } E = \frac{q\sqrt{26-2\sqrt{5}}}{20\pi\epsilon_0 h^2}.$$

$$\text{I.I47. а) } E = \frac{q}{2\pi\epsilon_0 h^2}; \quad б) E = \frac{2q}{9\pi\epsilon_0 h^2}.$$

$$\text{I.I48. } q = 4h\sqrt{\pi\epsilon_0 \kappa x}.$$

$$\text{I.I49. } F = \frac{(2\sqrt{2}-1)q^2}{8\pi\epsilon_0 h^2}; \quad E = 2\left(1 - \frac{1}{5\sqrt{5}}\right) \frac{q}{\pi\epsilon_0 h^2}.$$

$$\text{I.I50. } 9 \text{ нН.}$$

$$\text{I.I51. } A = \frac{q^2}{16\pi\epsilon_0 h}.$$

$$\text{I.I52. } F = \frac{(2\sqrt{2}-1)q^2}{32\pi\epsilon_0 h^2}.$$

$$\text{I.I53. } F = \frac{3p^2}{32\pi\epsilon_0 h^4}.$$

$$\text{I.I54. а) } F = \frac{r^2}{4\pi\epsilon_0 h}; \quad б) \sigma = \frac{rh}{\pi(x^2 + h^2)}.$$

$$\text{I.I55. а) } \sigma = \frac{r}{2\pi h}; \quad б) \sigma = \frac{r}{2\pi\sqrt{x^2 + h^2}}.$$

$$\text{I.I56. а) } \sigma = \frac{qh}{2\pi(h^2 + R^2)^{3/2}};$$

$$б) E = \frac{qh}{2\pi\epsilon_0(4h^2 + R^2)^{3/2}}; \quad \varphi = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 R} \left(1 - \frac{R}{\sqrt{R^2 + 4h^2}}\right).$$

$$\text{I.I57. } q_A = -\frac{q(d-x)}{d}; \quad q_B = -\frac{qx}{d}.$$

$$\text{I.I58. } x_0 \approx 1 \text{ мм.}$$

$$\text{I.I60. } q' = \frac{q}{2}.$$

$$\text{I.I61. } \varphi = \frac{q}{4\pi \epsilon_0 r}.$$

$$\text{I.I62. а) } \sigma_{\text{пол}} = \frac{hq(\epsilon-1)}{2\pi(\epsilon+1)r^3}; \text{ б) } q_{\text{пол}} = \frac{q(\epsilon-1)}{\epsilon+1}.$$

$$\text{I.I63. } F = \frac{q^2(\epsilon-1)}{16\pi\epsilon_0(\epsilon+1)h^2}.$$

$$\text{I.I64. } \sigma_{\text{пол}} = \frac{qh(\epsilon-1)}{2\pi(\epsilon+1)\epsilon r^3}.$$

$$\text{I.I65. } \sigma_{\text{пол}} = \frac{qh(\epsilon-1)}{2\pi\epsilon r^3}.$$

$$\text{I.I66. } C = \frac{4\pi\epsilon_0\epsilon R_1}{1 + (\epsilon-1)\frac{R_1}{R_2}}.$$

$$\text{I.I67. } 39 \text{ пФ.}$$

$$\text{I.I68. } 105 \text{ пФ; } 945 \text{ мм.}$$

$$\text{I.I69. } 1,48 \text{ пФ; } 44,5 \text{ кВ/м.}$$

$$\text{I.I70. } \varphi = \frac{C_1\varphi_1 + C_2\varphi_2}{C_1 + C_2}.$$

$$\text{I.I71. } C = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} = 1,2 \text{ пФ.}$$

$$\text{I.I72. Увеличится на } 200 \text{ пФ.}$$

$$\text{I.I73. а) } C_{AB} = \frac{2\epsilon_0\epsilon S}{3d}; \text{ б) } C'_{AB} = \frac{3\epsilon_0\epsilon S}{2d}.$$

$$\text{I.I74. } C = \frac{\epsilon_0 S (2d_0 + d)}{2d_0 d} = 79 \text{ пФ.}$$

$$I.I75. C = \frac{\epsilon_0 \epsilon_1 \epsilon_2 S}{\epsilon_1 d + (\epsilon_2 - \epsilon_1) d_1}.$$

$$I.I76. a) C = \frac{2\epsilon_0 \epsilon_1 \epsilon_2 S}{d(\epsilon_1 + \epsilon_2)}; \text{ б) } C = \frac{\epsilon_0 S (\epsilon_1 + \epsilon_2)}{2d}.$$

$$I.I77. 44 \text{ пФ}.$$

$$I.I78. C \approx 2\pi \epsilon_0 \epsilon a_0$$

$$I.I79. C \approx 4\pi \epsilon_0 a.$$

$$I.I80. C_{12} \approx \frac{\pi \epsilon_0}{\ln \frac{b}{a}}.$$

$$I.I81. C \approx \frac{2\pi \epsilon_0}{\ln \frac{2b}{a}}.$$

$$I.I82. 7,5 \text{ кВ}; 4,5 \text{ кВ}; 2,25 \text{ мкКл}.$$

$$I.I83. 3,5 \text{ кВ}.$$

$$I.I84. U \leq (1 + \frac{C_1}{C_2}) U_1 = 9 \text{ кВ}.$$

$$I.I85. C_{AB} = \frac{4}{3} C.$$

$$I.I86. 1,63 \text{ мкФ}.$$

$$I.I87. C_x = \frac{(\sqrt{5} - 1)C}{2} = 0,62 C.$$

$$I.I88. U_1 = 3 \text{ В}; U_2 = 1,5 \text{ В}; U_3 = 3 \text{ В}; U_4 = 1,5 \text{ В}.$$

$$U'_1 = 3,6 \text{ В}; U'_2 = 1,8 \text{ В}; U'_3 = 3,6 \text{ В}; U'_4 = 1,8 \text{ В}.$$

$$I.I89. C_{af} = \frac{1}{2} (-C_1 + C_2 + C_3); C_{gf} = \frac{1}{2} (C_1 + C_2 - C_3);$$

$$C_{ad} = \frac{1}{2} (C_1 - C_2 + C_3).$$

$$I.I90. 100 \text{ В}.$$

$$I.I91. \text{ Увеличится в } 1,5 \text{ раза}.$$

I.192. 0,05 Н; 13 МВ; 49 мкКл/м².

I.193. 5; 40 мкКл/м².

I.194. 300 кВ/м; 16 мкКл/м²; 13 мкКл/м²; 5.

I.195. а) Напряженность электрического поля уменьшится в 2 раза; диэлектрическое смещение останется неизменным.

б) Напряженность поля останется неизменной; диэлектрическое смещение увеличится в 2 раза.

I.196. а) $\Delta \sigma = \frac{\epsilon_0(\epsilon-1)U}{d} = 17,7 \text{ мкКл/м}^2$;

$\sigma_{\text{пол}} = \frac{\epsilon_0(\epsilon-1)U}{d} = 17,7 \text{ мкКл/м}^2$;

б) $\Delta \sigma = 0$; $\sigma_{\text{пол}} = \frac{\epsilon_0(\epsilon-1)U}{\epsilon d} = 2,53 \text{ мкКл/м}^2$.

I.197. $\Delta \sigma = \frac{\epsilon_0(\epsilon-1)U}{d}$.

I.198. $U_2 = 1,8 \text{ кВ}$.

I.199. $U_2 = \frac{2U_1}{\epsilon+1} = 60 \text{ В}$.

I.200. а) $E_1 = \frac{2\epsilon_0 E_0}{\epsilon+1}$; $E_2 = \frac{2E_0}{\epsilon+1}$; $D_1 = D_2 = \frac{2\epsilon_0 \epsilon E_0}{\epsilon+1}$;

б) $E_1 = E_0$; $E_2 = \frac{E_0}{\epsilon}$; $D_1 = D_2 = \epsilon_0 E_0$.

I.201. 25 кВ/м; 50 кВ/м.

I.202. 175 кВ/м.

I.203. а) $E_1 = E_2 = E$; $D_1 = \epsilon_0 E_0$; $D_2 = \epsilon_0 \epsilon E_0$;

б) $E_1 = E_2 = \frac{2E_0}{\epsilon+1}$; $D_1 = \frac{2\epsilon_0 E_0}{\epsilon+1}$; $D_2 = \frac{2\epsilon_0 \epsilon E_0}{\epsilon+1}$.

I.205. $K = \frac{\epsilon_1}{\epsilon_1 + \epsilon_2}$; $\frac{E_2}{E_1} = \frac{\epsilon_1}{\epsilon_2}$; $E_2 = E_1$.

I.206. 136 кВ/м; 131 мВ.

I.207. $\frac{R_2}{R_1} = e$, где e - основание натурального логарифма.

I.208. а) 3,88 кВ; б) 9,65 кВ.

I.209. Пробой произойдет в первом слое при напряжении 44,5 кВ.

$$I.210. \quad q = \frac{u_1 u_2}{u_1 - u_2} C_0.$$

$$I.211. \quad W = \frac{q_1 q_2 + q_1 q_3 + q_2 q_3}{4\pi \epsilon_0 a} = -63 \text{ мкДж.}$$

I.212. 0,54 мДж.

$$I.213. \quad W = -\frac{q^2}{8\pi \epsilon_0 d}.$$

$$I.214. \quad v = \frac{e}{\sqrt{4\pi \epsilon_0 m d}} \approx 160 \text{ м/с.}$$

$$I.215. \quad v = \frac{e}{\sqrt{2\pi \epsilon_0 m d}} = 225 \text{ м/с.}$$

$$I.216. \quad \frac{W_2}{W_1} = \frac{C_1}{C_1 + C_2}.$$

$$I.217. \quad \Delta W = -\frac{C_1 C_2 u^2}{2(C_1 + C_2)} = -0,03 \text{ Дж.}$$

$$I.218. \quad \Delta Q = \frac{C_1 C_2 (\varphi_2 - \varphi_1)^2}{2(C_1 + C_2)} = 120 \text{ мкДж.}$$

I.219. 30 мкДж.

I.220. 2,7 мкКл.

I.221. а) $A = -\Delta W$; б) $A = \Delta W$.

$$I.222. \quad A = \frac{\epsilon_0 (d_2 - d_1) S u^2}{2d_1^2} = 0,55 \text{ мДж.}$$

$$I.223. \quad A = \frac{q^2 (d - d_0)}{2\epsilon_0 S}.$$

$$I.224. \quad A = \frac{\epsilon_0 S d_0 u^2}{2(d - d_0)^2} = 12 \text{ мкДж.}$$

$$\text{I.225. a) } \Delta W = -32 \text{ мкДж; } A = 32 \text{ мкДж;}$$

$$\text{б) } \Delta W = 0,16 \text{ мДж; } A = 0,16 \text{ мДж.}$$

$$\text{I.226. a) } A = \frac{\sigma_{\text{пол}}^2 V}{2 \epsilon_0 (\epsilon - 1)} = 20 \text{ мкДж;}$$

$$\text{б) } A = \frac{\sigma_{\text{пол}}^2 \epsilon V}{2 \epsilon_0 (\epsilon - 1)} = 0,1 \text{ мДж.}$$

$$\text{I.227. } C = \frac{\epsilon_0 S (\epsilon + 1)}{2d}; \quad E_b = E_g = \frac{2U}{(\epsilon + 1)d};$$

$$\sigma_b = \frac{2 \epsilon_0 U}{(\epsilon + 1)d}; \quad \sigma_g = \frac{2 \epsilon_0 \epsilon U}{(\epsilon + 1)d};$$

$$\Delta W = \frac{\epsilon_0 (1 - \epsilon) S U^2}{2 (\epsilon + 1) d}.$$

$$\text{I.228. } N = \frac{\epsilon_0 S U^2}{2 x^2} \cdot \frac{dx}{dt}.$$

$$\text{I.229. } F = - \frac{q^2}{2 \epsilon_0 \epsilon S}.$$

$$\text{I.230. } 32 \text{ кН/м}^2.$$

$$\text{I.231. } 2,5 \text{ Дж/м}^3.$$

$$\text{I.232. } 0,177 \text{ мкКл; } 334 \text{ кВ/м; } 2,9 \text{ Дж/м}^3.$$

$$\text{I.233. } F = \frac{q^2}{2 \epsilon_0 S} = 0,565 \text{ мН.}$$

$$\text{I.234. } U = \sqrt{\frac{2F}{\epsilon_0 S}} = 1065 \text{ В.}$$

$$\text{I.235. } F = \frac{\epsilon_0 \epsilon^2 S U^2}{2 (\epsilon d_1 + d_2)^2}.$$

$$\text{I.236. } U = d \sqrt{\frac{2mg}{\epsilon_0 S}} = 15 \text{ кВ.}$$

I.237. 0,18 Дж; 7,2 Н; -1,8 Н.

I.238. $M = \frac{nq^2 h}{2\epsilon_0 \epsilon R^2 \alpha^2}$, где α - угол перекрытия обкладок.

I.239. $9,4 \cdot 10^{13}$ Дж/м³.

I.240. 0; 0,028 Дж/м³.

I.241. 0,29 мкКл/м; 4,6 мкКл/м²; 2,3 мкКл/м²; 87 мкДж.

I.242. а) $\frac{3q^2}{20\pi\epsilon_0 R}$; б) $-\frac{1}{5}$.

I.243. $W = \frac{q^2}{8\pi\epsilon_0 \epsilon} \left(\frac{1}{a} - \frac{1}{b} \right) = 27$ мДж.

I.244. -13,6 эВ.

I.245. $4,1 \cdot 10^{-18}$ Кл.

I.246. 15,4 Мм/с.

I.247. 14,6 Мм/с.

I.248. $a = \frac{eU}{2m \ln \frac{z_2}{z_1}} = 10^{15}$ м/с²;

$$v = \sqrt{\frac{2eU \ln \frac{z_2}{z_1}}{m \ln \frac{z_2}{z_1}}} = 5,4 \text{ Мм/с};$$

$W_{max} = 91$ эВ.

2.1. 15 Кл.

2.2. 75 кЛ.

2.3. 0,27 Кл.

2.4. $E = \frac{1}{2\pi\epsilon_0 r} \sqrt{\frac{m}{2eU}} = 1,7$ кВ/м.

$\Delta\varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \sqrt{\frac{m}{2eU}} = 42$ В.

$$2.5. \gamma = \frac{\epsilon_0 (\epsilon - 1) \tilde{z} a}{d} v = 2 \text{ HA.}$$

$$2.6. \gamma = \frac{2\pi \epsilon_0 (\epsilon - 1) z v U}{d} = 0,11 \text{ MKA.}$$

$$2.7. \gamma = \frac{qv}{d}.$$

$$2.8. \gamma = 2\pi \epsilon_0 R E v = 0,5 \text{ MKA.}$$

$$2.9. \gamma_m = 2 \epsilon_0 E_m v d = 1 \text{ MA}; \varphi_m = R E_m = 4,5 \text{ MB.}$$

$$2.10. 3,8 \text{ A/M}^2; 1,9 \text{ KA/M}^2.$$

$$2.11. q = \frac{z (U_1 + U_2)}{2R} = 20 \text{ Кл.}$$

$$2.12. q = \frac{I_1 I_2 z \ln \frac{I_1}{I_2}}{I_1 - I_2} \approx 69 \text{ Кл.}$$

$$2.13. t = RC \ln \left(\frac{U_0}{U_0 - U} \right) = 0,6 \text{ мкс.}$$

$$2.14. \rho = \frac{\tilde{r}}{\epsilon_0 \epsilon \ln 2} = 1,4 \cdot 10^{13} \text{ Ом} \cdot \text{м.}$$

$$2.15. \gamma = \frac{(\eta - 1) \epsilon}{R} \cdot \exp \left(- \frac{\eta t}{RC} \right).$$

$$2.16. \gamma = \frac{U_0}{R} \exp \left(- \frac{C_1 + C_2}{C_1 C_2 R} t \right); Q = \frac{C_1 C_2 U_0^2}{2(C_1 + C_2)}.$$

$$2.17. 5,4 \text{ Ом.}$$

$$2.18. n = \frac{R_0}{R} = 6.$$

$$2.19. R_{AB} = 0,65 \text{ Ом.}$$

$$2.20. \frac{52}{11}.$$

$$2.21. R_{AB} = 1 \text{ Ом.}$$

$$2.22. x_1 = 5,64 \text{ см}; R_1 = 1,13 \text{ Ом}; \\ x_2 = 44,36 \text{ см}, R_2 = 8,87 \text{ Ом.}$$

$$2.23. R_{AB} = 0,875 \text{ Ом.}$$

$$2.24. R_{AB} = 1,5 \text{ Ом.}$$

$$2.25. 1,25 \text{ Ом.}$$

$$2.26. R_{28} = 1 \text{ Ом}; R_{27} = 0,75 \text{ Ом}; R_{46} = 1,5 \text{ Ом.}$$

$$2.27. R_{17} = \frac{5}{6} R; R_{12} = \frac{7}{12} R; R_{13} = \frac{3}{4} R.$$

$$2.28. \eta = \frac{R_0}{\sqrt{3}}.$$

$$2.29. R = 3 \text{ Ом.}$$

$$2.30. R_{AB} = \frac{R_1}{2} \left(1 + \sqrt{1 + 4 \frac{R_2}{R_1}} \right) = 6 \text{ Ом.}$$

$$2.31. R = 5,46 \eta.$$

$$2.33. 2,3 \text{ Ом.}$$

$$2.34. R = \frac{S}{2\pi l} \ln \frac{r_2}{r_1}.$$

$$2.35. R = \frac{S}{4\pi} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right).$$

$$2.36. \gamma = \frac{UC}{\epsilon_0 \epsilon_f} = 975 \text{ пА.}$$

$$2.37. R = \frac{S}{2\pi D} = 150 \text{ Ом.}$$

$$2.38. \frac{dr}{dt} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 R} = 0,1 \text{ мм/с.}$$

$$2.39. R = \frac{\pi S (r_2 - r_1)}{S \ln \frac{r_2}{r_1}} = 15,4 \text{ МОм};$$

$$\gamma = 319 \text{ А}; j = \frac{U}{\pi S x} = 64 \text{ А/см}^2.$$

$$2.40. a) j = \frac{2ahU}{S r^3}; \quad b) R = \frac{S}{4\pi a}.$$

$$2.41. R \approx \frac{S}{2\pi a}.$$

$$2.42. \text{ а) } j = \frac{Ud}{2\rho r^2 \ln \frac{d}{a}}; \quad \text{ б) } R = \frac{\rho}{\pi} \ln \frac{d}{a}.$$

$$2.43. \gamma = \frac{U_S}{\varepsilon_0 \varepsilon \rho} = 1,5 \text{ мкА}.$$

$$2.44. \gamma = \frac{U_S (\varepsilon_2 - \varepsilon_1)}{d \ln \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1}} = 5 \text{ нА}.$$

$$2.45. \text{ а) } R = \frac{2\pi a}{S^2}; \quad \text{ б) } E = \frac{2\pi a j}{S^2}.$$

$$2.47. 4,1 \text{ А/мм}^2.$$

$$2.48. 1900^\circ \text{C}.$$

$$2.49. R_t = 5(1 + 4,92 \cdot 10^{-3} t) \text{ Ом}.$$

$$2.50. \frac{l_{fe}}{l_c} = 44,4.$$

$$2.52. 6,54 \text{ В}; 3,27 \text{ В}; 2,19 \text{ В}.$$

$$2.53. 1 \text{ мм}^2.$$

$$2.54. \operatorname{tg} \gamma = - \frac{g}{R^2}.$$

$$2.55. \operatorname{tg} \gamma = \frac{g}{R^2}.$$

$$2.56. \frac{dR}{di} = - \frac{(i + R_{\text{д}} + R)^2}{g}, \text{ т.е. точность измерения тем меньше, чем больше значение } R.$$

$$2.57. 16,7 \text{ Ом}.$$

$$2.58. \text{ а) Подключить шунт сопротивлением } 0,1 \text{ Ом};$$

$$\text{ б) подключить последовательно добавочное сопротивление } 90 \text{ Ом}.$$

$$2.59. \text{ Подключить последовательно добавочное сопротивление } 100 \text{ кОм}; \text{ подключить шунт сопротивлением } 0,1 \text{ Ом}.$$

$$2.60. 3 \text{ А}.$$

$$2.61. 1 \text{ кВ}.$$

$$2.62. z_1 = 290 \text{ Ом}; z_2 = 1,2 \text{ кОм}; z_3 = 6 \text{ кОм}; z_4 = 7,5 \text{ кОм}.$$

$$2.63. 4,2 \text{ мкА/дел}.$$

$$2.64. R_{\text{д}1} = \frac{(R_1 - R_2) z}{R_2} = 20 \text{ Ом}.$$

$$2.65. \text{ а) } U_1 = 45 \text{ В, } U_2 = 15 \text{ В;}$$

$$\text{ б) } U_1 = 20 \text{ В, } U_2 = 40 \text{ В;}$$

$$\text{ в) } U_1 = 60 \text{ В, } U_2 = 0.$$

$$2.66. \Delta\varphi = \frac{(\mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_2) R_1}{R_1 + R_2} - \mathcal{E}_1 = -4 \text{ В.}$$

$$2.67. 0,5 \text{ В.}$$

$$2.68. \varphi_B - \varphi_A = 72,5 \text{ В; } \varphi_B - \varphi_C = 32,5 \text{ В.}$$

$$2.69. U = 15 \text{ В.}$$

$$2.70. U_{AB} = U_{BC} = 1,25 \text{ В.}$$

$$2.71. U_{12} = 3 \text{ В; } U_{16} = 0,9 \text{ В; } U_{56} = 1,9 \text{ В; } U_{34} = 3,8 \text{ В.}$$

$$2.72. \Delta\varphi = 0; \Delta\varphi' = 0; \Delta\varphi'' = 0 \text{ или } \Delta\varphi'' = \mathcal{E}.$$

$$2.73. \mathcal{E}_2 < \frac{\mathcal{E}_1 R_2}{R + R_1}.$$

$$2.74. R = R_2 - R_1; \Delta\varphi = 0 \text{ на клеммах элемента, внутреннее сопротивление которого}$$

$$2.75. \text{ а) } 2\mathcal{E}_2 > \mathcal{E}_1; \text{ б) } \mathcal{E}_1 > 2\mathcal{E}_2; \text{ в) } 2\mathcal{E}_2 = \mathcal{E}_1.$$

$$2.76. U_1'' = 1,75 \text{ В; } U_2'' = 1,5 \text{ В.}$$

$$2.77. U = 0.$$

$$2.78. U_{AB} = 3,7 \text{ В; } U_{BC} = 10,6 \text{ В; } U_{AC} = 14,3 \text{ В.}$$

$$2.79. -1,7 \text{ В; потенциал в точке } C \text{ выше потенциала точки } A.$$

$$2.80. \operatorname{tg} \alpha = -\frac{\mathcal{E}}{R_1^2}.$$

$$2.81. \text{ Ток через амперметр } (i_A) \text{ слабо зависит от } R_x \text{ при}$$

$$1) R_x \gg R, \text{ в таком случае } i_A = \frac{\mathcal{E}}{R + r};$$

$$2) r \ll R_x, \quad - \text{ " } - \quad i_A = \frac{\mathcal{E}}{R};$$

$$3) r \ll R, \quad - \text{ " } - \quad i_A = \frac{\mathcal{E}}{R}.$$

$$2.82. \text{ а) } R = \sqrt{3} r; \text{ б) } R = \frac{r}{\sqrt{3}}.$$

$$2.83. \mathcal{I} = \frac{\mathcal{E}(R_1 + R_2)}{rR_1 + rR_2 + R_1R_2}; \mathcal{I}_1 = \frac{\mathcal{E}R_2}{rR_1 + rR_2 + R_1R_2};$$

$$\frac{I_1'}{I_1} = \frac{z R_1}{R_2(z + R_1)} + I.$$

Если $z \ll R_1$, то $\frac{I_1'}{I_1} = \frac{z}{R_2} + I.$

2.84. 25 В.

2.85.
$$U_1 = \frac{l R X U}{R_0 l X - R_0 X^2 + R l^2}.$$

2.86. $R = 29,97 \text{ Ом}; \frac{\Delta R}{R} = 0,1 \text{ %};$

$R' = 0,27 \text{ Ом}; \frac{\Delta R'}{R'} = 10 \text{ %}.$

2.87. $R = 3,01 \text{ Ом}; \frac{\Delta R}{R} = 0,3 \text{ %};$

$R' = 428 \text{ Ом}; \frac{\Delta R'}{R'} = 30 \text{ %}.$

2.88. 0,5 %.

2.89. $z = 325 \text{ Ом}; R = 1300 \text{ Ом}; R_V = 13260 \text{ Ом}.$

2.90. $U = 51 \text{ В}.$

2.91.
$$R_H = \frac{U(R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3)}{I R_2 R_3 - U(R_2 + R_3)}.$$

2.92. Сопротивление реостата должно быть по меньшей мере 3 Ом и допустимая сила тока 45 А.

2.93. $I_{max} = 10 \text{ А}.$

2.94. $z \frac{m}{n} = R$, что возможно при $m n z \gg R$;

$$I_{max} = \frac{m \mathcal{E}}{2 R}.$$

2.95. $\mathcal{E}_{\text{экл}} = 2,6 \text{ В}; z_{\text{экл}} = 0,6 \text{ Ом}.$

2.96. 0,75 А; 0.

2.97. 0,75 В, при условии, что сопротивление вольтметра достаточно велико.

2.98. 0,35 В.

2.99. $U = 0.$

2.100. $U_a = 0; U_e = 0.$
 $U'_a = 0,75 \text{ В}; U'_e = 0,5 \text{ В}.$

$$2.101. I, 2 \text{ В}; 2, 2 \text{ В.}$$

$$2.102. \mathcal{I}_1 = 2 \text{ А}; \mathcal{I}_2 = 1 \text{ А.}$$

$$2.103. 0,5 \text{ А.}$$

$$2.104. R_4 = \frac{U_{21}(R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3)}{\mathcal{I} R_2 R_3 - U_{21}(R_2 + R_3)}$$

$$2.105. 6,8 \text{ В.}$$

$$2.106. \mathcal{I} = 0,02 \text{ А}; \text{ток направлен слева направо (рис. 2.52).}$$

$$2.107. \mathcal{I}_1 = 1,05 \text{ А}; \mathcal{I}_2 = 0,87 \text{ А}; U = 1,8 \text{ В.}$$

$$2.108. \mathcal{I}_1 = 6,4 \text{ А}; \mathcal{I}_2 = 5,8 \text{ А}; \mathcal{I}_R = 0,6 \text{ А.}$$

$$2.109. \mathcal{I}_1 = 1,28 \text{ А}; \mathcal{I}_2 = 1,85 \text{ А}; \mathcal{I}_3 = 0,57 \text{ А.}$$

$$2.110. \mathcal{I} = 1 \text{ мА}; \mathcal{E}_2(R_1 + R_2) = \mathcal{E}_1 R_2.$$

$$2.111. \mathcal{I}_1 = \frac{5}{13} \text{ А}; \mathcal{I}_2 = \frac{1}{13} \text{ А}; \mathcal{I}_3 = \frac{4}{13} \text{ А.}$$

$$2.112. \mathcal{I}_1 = 1,82 \text{ А}; \mathcal{I}_2 = 2,01 \text{ А}; \mathcal{I}_3 = 0,19 \text{ А.}$$

$$2.113. U_2 = 3 \text{ В}; \mathcal{I}_3 = 1 \text{ А}; R_2 = 3 \text{ Ом}; R_1 \text{ и } R_2 \text{ могут иметь произвольные значения.}$$

$$2.114. \mathcal{I}_1 = \mathcal{I}_3 = 4 \text{ А}; \mathcal{I}_2 = 0; U = 4 \text{ В.}$$

$$2.115. \mathcal{I}_1 = 0,06 \text{ А}; \varphi_A - \varphi_B = 0,9 \text{ В.}$$

$$2.116. \mathcal{I}_1 = 0,8 \text{ А}; \mathcal{I}_2 = 0,5 \text{ А}; \mathcal{I}_3 = 1,3 \text{ А.}$$

$$2.117. \mathcal{I}_1 = 1,5 \text{ А}; \mathcal{I}_2 = 2,5 \text{ А}; \mathcal{I}_3 = 4 \text{ А.}$$

$$2.118. \mathcal{E}_2 = \mathcal{E}_3 \left(1 + \frac{R_2}{R_3}\right); \mathcal{I}_1 = \frac{\mathcal{E}_1}{R_1} - \frac{\mathcal{E}_3}{R_1} \left(1 + \frac{R_2}{R_3}\right).$$

$$2.119. \mathcal{I}_1 = 1,49 \text{ А}; \mathcal{I}_2 = 0,65 \text{ А}; \mathcal{I}_3 = 0,84 \text{ А.}$$

$$2.120. \varphi_A - \varphi_B = -0,5 \text{ В.}$$

$$2.121. \mathcal{I}_1 = \mathcal{I}_2 = \mathcal{I}_3 = \mathcal{I}_4 = 1 \text{ А.}$$

$$2.122. \mathcal{I} = \frac{8}{7} \text{ А.}$$

$$2.123. \mathcal{I}_1 = 3 \text{ А}; \mathcal{I}_2 = 0; \mathcal{I}_3 = 1 \text{ А}; \mathcal{I}_4 = 2 \text{ А.}$$

$$2.124. \mathcal{I}_1 = \frac{U_2 [U_4 - \mathcal{I}(R_2 R_3 + R_2 R_4 + R_3 R_4)]}{U_2 R_3 + \mathcal{I}(R_2 R_3 + R_2 R_4 + R_3 R_4 + R_2 R_5 + R_3 R_5 + R_4 R_5)}$$

2.125. $\mathcal{E}_2 = 2$ В, положительный полюс источника соединить с точкой А.

$$2.126. \mathcal{E} = [R_1(R_2R_5 + R_3R_5 + R_4R_5 + R_2R_4 + R_3R_4) + R_3(R_2R_4 + R_2R_5 + R_4R_5)] \frac{I_4}{R_3R_5}.$$

$$2.127. R_{AB} = \frac{7}{5} \Omega.$$

$$2.128. I = 4,18 \text{ А}; I_1 = 1,64 \text{ А}; I_2 = 2,84 \text{ А}; \\ I_3 = 0,18 \text{ А}; I_4 = 2,36 \text{ А}; I_5 = 1,82 \text{ А}.$$

2.130. 224 руб.

2.131. 1,8 ГВт-час.

2.132. а) 100 Вт; б) 570 кДж; в) 55 А/мм^2 ;
г) 10^{20} л/с ; д) 4,1 мм/с.

2.133. 2200°С .

$$2.134. \frac{P_1'}{P_2'} = \frac{3}{5}$$

2.135. Лампочка, рассчитанная на меньшую мощность, будет светиться интенсивней.

2.137. Напряжение на лампочке уменьшится на 22 В.

2.138. 14,4 Ом.

2.139. 19 Ом или 1,3 Ом.

2.140. 2 Ом и 0,5 А или 0,5 Ом и 1 А.

2.141. а) 30 мин; б) 6 мин. 40 с.

2.142. 13,3.

2.143. 0,009 К/с.

2.144. 1680 Вт.

2.145. 23.

2.146. 3 см.

2.147. 1,63 А.

2.148. 50 мкс.

$$2.149. \text{ а) } U_1 \approx 95 \text{ В}; P_1 \approx 45 \text{ Вт}; \\ U_1' \approx 97,6 \text{ В}; P_1' \approx 23 \text{ Вт}; I' = \frac{I}{2}$$

$$\text{б) } U_2 \approx 100 \text{ В; } P_2 \approx 0,1 \text{ Вт;}$$

$$U_2' \approx 200 \text{ В; } P_2' \approx 0,2 \text{ Вт; } I_2' \approx I_2.$$

$$2.150. \text{ а) } A = Q = 2 \text{ Дж; } \text{б) } A = 2 \text{ Дж; } Q = 0,7 \text{ Дж;}$$

$$\text{в) } A = -2 \text{ Дж; } Q = 0,6 \text{ Дж.}$$

$$2.151. r = \sqrt{R_1 R_2} = 4 \text{ Ом.}$$

$$2.152. \eta = 60\%; R_1 = 18 \text{ Ом; } R_2 = \infty.$$

$$2.156. P_{\max} = \frac{8 I_{\max}}{4} = 15 \text{ Вт.}$$

$$2.157. 9 \text{ Вт.}$$

$$2.158. \mathcal{E} = 3,75 \text{ В; } P_{\max} = 6,7 \text{ Вт} < 9 \text{ Вт.}$$

$$2.159. 10 \text{ Вт.}$$

$$2.160. R = 3 r.$$

$$2.161. \eta = 42\%; P_{\max} = 6,45 \text{ Вт; } \eta = 56\%.$$

$$2.162. R = 1,5 \text{ Ом; } I = 2,5 \text{ А; } P = 18,8 \text{ Вт.}$$

$$2.163. n = \sqrt{\frac{N r}{R}} = 3.$$

$$2.164. R = \frac{6}{5} \text{ Ом; } P_{\max} = 14,7 \text{ Вт.}$$

$$2.165. l' = l \sqrt{\frac{P' U'^2}{P U^2}}; r' = r \sqrt{\frac{U^2 P'^2}{U'^2 P^2}}.$$

$$2.166. 4 \text{ В; } 0,55 \text{ А.}$$

$$2.167. t = \frac{U^2 + R_0 \kappa t_0}{R_0 \kappa - U^2 \alpha}.$$

$$2.168. 100 \text{ кДж.}$$

$$2.169. 2,48 \text{ кДж.}$$

$$2.170. 2,48 \text{ кДж.}$$

$$2.171. A = \frac{I U}{3} t.$$

$$2.172. 475 \text{ Дж.}$$

$$2.173. 14,4 \text{ Дж.}$$

$$2.174. \text{ а) } Q = \frac{4 q^2 R}{3 \Delta t}; \text{ б) } Q = \frac{q^2 R \ln 2}{2 \Delta t}.$$

$$2.175. Q_1 = \frac{\mathcal{E} U^2 R}{2(R_1 + R_2)} = 80 \text{ мДж.}$$

$$2.176. \text{ а) } q = q_0 \exp\left(-\frac{t}{\epsilon_0 \epsilon_f \rho}\right); \text{ б) } Q = \frac{q_0^2}{8\pi\epsilon_0\epsilon} \left(\frac{1}{a} - \frac{1}{b}\right)$$

$$2.177. \text{ а) } q = q_0 \exp\left(-\frac{\Delta t}{RC}\right) = 0,82 \text{ мКл};$$

$$\text{ б) } Q = \left[1 - \exp\left(-\frac{2\Delta t}{RC}\right)\right] \frac{q_0^2}{2C} = 82 \text{ мДж}.$$

$$2.178. \text{ а) } i = \frac{U_0}{R} \exp\left(-\frac{2t}{RC}\right); \text{ б) } Q = \frac{CU_0^2}{4}.$$

$$2.179. U = \frac{mv_0^2}{2ed} = 14 \text{ мкВ}.$$

$$2.180. a = \frac{eU}{m\ell} = 0,18 \text{ мм/с}^2.$$

$$2.181. q = \frac{m}{e} \cdot \frac{ND^2\pi^2}{R + 4\rho \frac{ND}{d^2}} = 110 \text{ пКл, где } m \text{ и } e$$

суть масса и заряд электрона, ρ — удельное сопротивление меди.

$$2.182. v = \frac{qeR}{m\ell} = 7,03 \text{ м/с (} m \text{ и } e \text{ — масса и заряд электрона).}$$

$$2.183. 100 \text{ км/с; } 70 \text{ мкм/с}.$$

$$2.184. 10^{20} \text{ I/с; } 4,15 \text{ мм/с}.$$

$$2.185. \frac{n_{cu}}{n_w} = 1,35; \quad \frac{\tau_{cu}}{\tau_w} = 2,4; \quad \frac{n_{cu}}{n_w} = 0,74.$$

$$2.186. t = \frac{\ell nev}{j} = 3 \text{ Мс (} n \text{ — концентрация свободных электронов).}$$

$$2.187. j = \frac{\ell nev}{j} \approx 5 \text{ Мм (} n \text{ — концентрация свободных электронов, } v \text{ — средняя скорость их теплового движения).}$$

$$2.188. 2,84 \cdot 10^{-6} \text{ кг} \cdot \text{м/с}.$$

$$2.189. \text{ а) } 235 \text{ лет; б) } 94 \text{ кН}.$$

$$2.190. 1,27 \cdot 10^{19} \text{ I/с; } 86 \text{ мВ/м}.$$

$$2.191. 390 \text{ Дж/(м} \cdot \text{с} \cdot \text{К)}.$$

$$2.192. \Delta W' = 1,1 \text{ эВ}.$$

- 2.193. $2,5 \cdot 10^{19} \text{ л/м}^3$.
- 2.194. $76,4^\circ \text{C}$.
- 2.195. 80 мкА .
- 2.196. $0,7 \text{ К}$.
- 2.197. 1480 Кл .
- 2.198. 980 км/с ; $3,94 \cdot 10^{16} \text{ л/с}$.
- 2.199. $v_{\text{min}} = 1 \text{ эВ}$; $a_{\text{max}} = 3,2 \cdot 10^{15} \text{ м/с}^2$.
- 2.200. а) $\mathcal{F}(\chi) = -\frac{4}{9} \varepsilon_0 a \chi^{\frac{2}{3}} \cdot 6) j = \frac{4}{9} \varepsilon_0 a^{\frac{2}{3}} \sqrt{\frac{2e}{m}}$.
- 2.201. $0,14 \text{ А}$.
- 2.202. $3,1 \text{ эВ}$.
- 2.203. 10^{-4} .
- 2.204. $5 \cdot 10^{18} \text{ л/с}$; $3,2 \cdot 10^{19} \text{ Кл}$.
- 2.205. $0,03 \text{ мм}$.
- 2.206. $3 \cdot 10^6 \text{ Кл/кг}$.
- 2.207. 18 МДж .
- 2.208. 20 коп .
- 2.209. $1,04 \text{ г}$; $0,695 \text{ г}$; $1,32 \text{ г}$;
 $1,86 \cdot 10^{-5} \text{ киломолей}$; $3,72 \cdot 10^{-5} \text{ киломолей}$
 $11,2 \cdot 10^{22} \text{ атомов}$; $2,24 \cdot 10^{22} \text{ атомов}$.
- 2.210. $5,8 \text{ мг}$.
- 2.211. $2,09 \text{ л}$.
- 2.212. $\kappa = 0,987 \text{ мг/Кл}$; $\dot{\nu} = 0,84 \text{ т}$.
- 2.213. $0,77$.
- 2.214. $31,4 \text{ л/(Ом} \cdot \text{м)}$.
- 2.215. $0,844$; $0,156$.
- 2.216. $0,5$.
- 2.217. $2,5$.
- 2.218. $1,19 \text{ В}$.

2.220. 0,1 мм.

2.221. 67,8 В.

2.222. 12 км/с; 2,1 Мм/с.

2.223. 28,3 В.

2.224. Нет.

2.225. 10^{-6} см³/с; 101.

2.226. $\tau_2 = \frac{1}{\delta n_0} = 0,06$ с; $\tau_4 = \frac{3}{\delta n_0} = 0,18$ с.

2.227. $\tau = \frac{\eta - 1}{\sqrt{\delta \Delta n}} = 13$ мс.

2.228. $\sigma = \frac{\delta}{4} \sqrt{\frac{\pi M}{R T}} \approx 2,5 \cdot 10^{-11}$ см², где M - молярная масса воздуха, а R - универсальная газовая постоянная.

2.229. Увеличится в 8600 раз.

2.230. 0,375 мс.

2.231. $v_+ = 1,08$ м/с; $v_- = 1,62$ м/с.

2.232. $\kappa = \frac{\omega_0 d^2}{2u_0}$.

2.233. $E < \frac{\omega d m \gamma}{2e} \approx 170$ В/м.

2.234. $2,6 \cdot 10^{13}$ Ом·м.

2.235. 11,8 нСм/см.

2.236. $1,5 \cdot 10^8$ л/см³.

2.237. $5,5 \cdot 10^{-12}$ А/м².

2.238. $1,2 \cdot 10^9$ л/(см³·с).

2.239. 1,47 мкВ.

2.240. $\tau = \frac{\epsilon_0 \gamma u}{e d^2 \Delta n} = 4,6$ суток.

2.241. $3,2 \cdot 10^7$ л/см³; 3,3 нА; 0,034; 0,03 с.

2.242. 0,58 в условиях далеких от насыщения; 0,67 в условиях насыщения.

$$2.243. n = \sqrt{\frac{I_0}{e \delta d}} = 4,4 \cdot 10^{12} \text{ I/M}^3.$$

$$2.244. \alpha = \frac{\rho}{\lambda_0} \exp\left(-\frac{U_p}{E \lambda_0}\right) = 74 \text{ I/M}.$$

$$2.245. j = e \gamma_0 \exp(\alpha d).$$

$$2.246. j = \frac{e \Delta n}{\alpha} (e^{\alpha d} - 1).$$

$$2.247. d_k = \left(\frac{9 \epsilon_0 k + U_k^2}{8 j} \right) \cong 50 \text{ нм}.$$

$$2.248. E_z = \frac{e \alpha z_0}{3 \pi \epsilon_0 v^2} \exp(\alpha v t), \text{ где } z - \text{расстояние от центра лавины, } v - \text{средняя скорость направленного движения электронов, } \alpha - \text{коэффициент ударной ионизации.}$$

$$2.249. \varphi = \frac{q}{4 \pi \epsilon_0 z} \exp\left(-\frac{z}{z_D}\right), \text{ где } z_D = \sqrt{\frac{\epsilon_0 k T}{2 e^2 n}},$$

n - концентрация заряженных частиц.

$$3.1. 0,174 \text{ мТл}.$$

$$3.2. B = \frac{\mu_0 d I}{2 \pi r_1 r_2} = 20 \text{ мкТл}.$$

$$3.3. \text{ На расстоянии } 3,87 \text{ см влево от проводника } A \text{ и } 6,36 \text{ см вправо от него.}$$

$$3.4. \text{ В точках, находящихся от первого проводника на расстоянии } 0,88 \text{ см и } 5,12 \text{ см в сторону других проводников.}$$

$$3.5. \text{ В точках, находящихся от проводника с током } I_1 \text{ на расстоянии } 2 \text{ см, а от проводника с током } I_2 \text{ на расстоянии } 1 \text{ см.}$$

$$3.6. B = \frac{2 \mu_0 I}{\pi a} = 80 \text{ мкТл}.$$

$$3.7. \text{ На расстоянии } 2 \text{ см к востоку от провода.}$$

$$3.8. \text{ а) } B = \frac{\mu_0 I}{2 \pi r} (1 + \cos \alpha);$$

$$\text{ б) } B = \frac{\mu_0 I}{4 \pi r} \sqrt{6 + 4 (\cos \alpha + \cos \beta) + 2 \cos (\alpha + \beta)},$$

$$\text{ где } r - \text{расстояние точки от места разветвления проводов.}$$

3.9. $B = \frac{\mu_0 I \sqrt{2}}{4\pi r}$, где r — расстояние точки от вершины угла.

3.10. $B_1 = \frac{\mu_0 I}{2\pi x} (\sqrt{2} + 1) = 97 \text{ мкТл};$

$B_2 = \frac{\mu_0 I}{2\pi x} (\sqrt{2} - 1) = 17 \text{ мкТл}.$

3.11. $B = 0.$

3.12. $B = \frac{2\sqrt{2}\mu_0 I}{\pi a} = 34 \text{ мкТл}.$

3.13. $B = \frac{2\mu_0 I}{\pi ab} \sqrt{a^2 + b^2}.$

3.14. $B = \frac{2\mu_0 I}{\pi D h} \sqrt{D^2 + h^2} \cdot \sqrt{4 + 2\sqrt{2}}.$

3.15. $B = 0.$

3.16. $B = \frac{9\mu_0 I}{2\pi a}.$

3.17. $B = 0.$

3.18. $B = 0$, независимо от местоположения скользящего контакта.

3.19. Увеличится в четыре раза.

3.20. $B_1 = \frac{\mu_0 I}{2} \left[\frac{1}{R} + \frac{R^2}{(R^2 + 4a^2)^{3/2}} \right] = 33 \text{ мкТл};$

$B_2 = \frac{\mu_0 I R^2}{(R^2 + a^2)^{3/2}} = 15 \text{ мкТл}.$

3.21. $25^\circ; 65^\circ.$

3.22. $\sim 1 \text{ А}.$

3.23. а) $B = \frac{\mu_0 I}{4\pi R}$; б) $B = \frac{\mu_0 I}{4\pi R} \left(\frac{3}{2}\pi + 1 \right);$

в) $B = \frac{\mu_0 I}{4\pi R} (\pi + 2).$

3.24. $B = \frac{\mu_0 I (3\pi + 4)}{8\pi R} = 28 \text{ мкТл}.$

3.25. $B = \frac{\mu_0 I}{\pi R} \left(\arcsin \frac{a}{R} + \frac{\sqrt{R^2 - a^2}}{a} \right).$

$$3.26. B = \frac{\mu_0 J}{2R} (\sqrt{3} + 1) \sqrt{2}.$$

$$3.27. J = \frac{2 R B_2}{\mu_0 N} \operatorname{tg} \alpha.$$

$$3.28. \varphi = \operatorname{arctg} \frac{\mu_0 C U n N}{2 R B_2} = 13,5^\circ.$$

$$3.29. 3,7 \text{ Ом}.$$

$$3.30. J_2 = \frac{J_1 R_2}{2 R_1} (\operatorname{ctg} \varphi_1 - \operatorname{ctg} \varphi_2); B_2 = \frac{\mu_0 J_1}{4 R_1} (\operatorname{ctg} \varphi_1 + \operatorname{ctg} \varphi_2).$$

$$3.31. B = \frac{1}{2} \mu_0 j.$$

$$3.32. \sigma_{\max} = 2 \varepsilon_0 E_0 = 53,5 \text{ мкКл/м}^2; B = \frac{1}{2} \mu_0 \sigma_{\max} v = 4,95 \cdot 10^{-11} \text{ Т}$$

$$3.33. B = \mu_0 j.$$

$$3.34. B = \frac{\mu_0 J}{\pi^2 R}.$$

$$3.35. 0,125 \text{ мТл}; 0,200 \text{ мТл}.$$

$$3.36. \text{Если } r \leq R, \text{ то } B = 0;$$

$$\text{если } R_1 \leq r \leq R_2, \text{ то } B = \frac{\mu_0 J}{2\pi(R_2^2 - R_1^2)} (r - \frac{R_1^2}{r});$$

$$\text{если } r > R_2, \text{ то } B = \frac{\mu_0 J}{2\pi r}.$$

$$3.37. B_1 = 20 \text{ мкТл}; B_2 = 0.$$

$$3.38. \Phi = \frac{\mu_0 J}{4\pi} = 0,1 \text{ мкВб/м}.$$

$$3.39. \Phi = \frac{\mu_0 J \ell}{2\pi} \ln \frac{R_2}{R_1} = 16 \text{ мкВб}.$$

$$3.40. \vec{B} = \frac{\mu_0}{2} [\vec{j}, \vec{a}]; \text{если } a = 0, \text{ то и } B = 0.$$

$$3.41. \vec{B} = \frac{\mu_0}{2} [\vec{j}, \vec{r}]; \text{внутри провода};$$

$$\vec{B} = \frac{\mu_0}{2} [\vec{j}, \vec{r}] \frac{R^2}{r^2}, \text{вне провода}.$$

$$3.42. B_1 = 6,28 \cdot \text{мТл}; B_2 = 3,14 \text{ мТл}.$$

$$3.43. \Phi = \frac{\mu_0 n J}{2} S.$$

$$3.44. \frac{d}{r} \leq \sqrt{\frac{1}{1 - \delta}} - 1 = 0,07.$$

3.45. а) $B = \frac{\mu_0 n I}{2} \left[1 \pm \frac{x}{\sqrt{x^2 + R^2}} \right]$, где знак "+" отвечает точке внутри соленоида, знак "-" вне его;
 б) $x_0 = 5R$.

3.46. $l \geq \frac{d}{\sqrt{\sqrt{\frac{1}{1-\beta^2}} - 1}} = 2 \text{ м.}$

3.47. $B_1 = \mu_0 \frac{I}{2a} = 1,26 \text{ нТл}; B_2 = 0,63 \text{ нТл.}$

3.48. $B = \frac{\mu_0 N I}{2(R_2 - R_1)} \ln \frac{R_2}{R_1}; P_m = \frac{\pi N I}{3} (R_1^2 + R_1 R_2 + R_2^2).$

3.49. $B = \frac{1}{2} \mu_0 b \omega R; P_m = \frac{1}{4} \pi b \omega R^4.$

3.50. $B_1 = 0; B_2 = 5 \text{ мТл}; B_3 = 4,35 \text{ мТл.}$

3.51. $B_{\max} = 4,8 \text{ мТл}; B_{\min} = 3 \text{ мТл}; \Phi = 5,64 \text{ мкВб.}$

3.52. $P_m = \frac{N d^2 I}{2} = 0,5 \text{ А} \cdot \text{м}^2.$

3.53. $P_m = \frac{q \omega R^2}{5}; \frac{P_m}{L} = \frac{q}{2m}.$

3.54. $78,5^\circ.$

3.55. 24 Н.

3.56. $0,14 \text{ Н}; 0,17 \text{ Н.}$

3.57. $d = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi \rho} \ell.$

3.58. $x_1 = \frac{d}{2} + \sqrt{\frac{d^2}{4} - \frac{\mu_0 I_1 I_2 \ell}{4\pi \kappa}}; x_2 = \frac{d}{2} + \sqrt{\frac{d^2}{4} + \frac{\mu_0 I_1 I_2 \ell}{4\pi \kappa}}.$

3.59. $\varphi = \arcsin \frac{B I}{\rho g I} = 22^\circ.$

3.60. $M = \frac{B I R^2}{2} = 6,25 \cdot 10^{-4} \text{ Нм.}$

3.61. $B = \frac{\mu_0 I}{4R}; F = 2 I R B.$

3.62. $F = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi b} \ln \frac{b+a}{a}.$

3.63. $F = \frac{\mu_0 I^2}{\pi^2 R}.$

3.64. $B = \frac{\pi b d^2}{4 R I} = 8 \text{ кТл.}$

$$3.65. \rho = \frac{\mu_0 J^2}{8\pi^2 R^2}.$$

$$3.66. \rho = \frac{B^2}{2\mu_0}.$$

$$3.67. F = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi} \ln \frac{z_0 + l}{z_0} = 0,22 \text{ мН}.$$

$$3.68. F = \frac{\mu_0 I_1 I_2 l}{2\pi (z_2 - z_1)} \ln \frac{z_2}{z_1} = 53 \text{ мкН}.$$

$$3.69. 4 \text{ мкН}; \frac{4}{3} \text{ мкН}; 1,1 \text{ мкН}; \frac{8}{3} \text{ мкН}.$$

$$3.70. \text{ а) } F = \frac{\mu_0 I_1 I_2 a b}{2\pi c (c+b)}; \text{ б) } M = 0; \text{ в) } \phi = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi} \ln \frac{c+b}{c}.$$

$$3.71. M_1 = 0,45 \text{ мН}\cdot\text{м}; M_2 = 0,35 \text{ мН}\cdot\text{м}.$$

$$3.72. \alpha = \arctg \frac{B J}{2 D S g} = 15^\circ \quad (D - \text{плотность меди}).$$

$$3.73. \text{ а) } 2,4 \text{ нН}\cdot\text{м}; \text{ б) } 1,2 \text{ нН}\cdot\text{м}.$$

$$3.74. 12^\circ 15'; 0,47 \text{ мкА}.$$

$$3.75. J = \frac{3\pi z \alpha}{\ln S B} = 50 \text{ нН}.$$

$$3.76. 0,01 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

$$3.77. \varphi = \arctg \frac{2 P_m B}{mg l} = 56,8^\circ.$$

$$3.78. T = 2\pi \sqrt{\frac{J}{B a^2 N i}}.$$

$$3.79. B_c = \frac{T_1^2}{T_2^2} B_3 \sin \alpha.$$

$$3.80. 18 \text{ мкТл}.$$

$$3.81. J = \sqrt{\frac{\kappa \alpha}{\mu_0 n N S \cos \alpha}} = 1 \text{ А}.$$

$$3.82. J = \sqrt{\frac{P l}{\mu_0 n N S}}.$$

$$3.83. \frac{dB}{dh} = \frac{mg}{\pi J R^2} = 3,1 \text{ Тл/м}.$$

$$3.84. F = \frac{3\mu_0 \pi R^4 J^2}{2 \chi_0^4} = 24 \text{ мкН}.$$

$$3.85. 0,05 \text{ Дж.}$$

$$3.86. 42 \text{ мкДж/м.}$$

$$3.87. 25 \text{ А.}$$

$$3.88. 0,72 \text{ мкДж.}$$

$$3.89. 0,12 \text{ Дж.}$$

$$3.90. 2,5 \text{ мДж; } 5 \text{ мДж.}$$

$$3.91. 32 \text{ мДж.}$$

$$3.92. \text{ а) } 0,12 \text{ мкДж; } 0,32 \text{ мкДж.}$$

$$3.93. 0,45 \text{ мкДж.}$$

$$3.94. P = \pi R^2 I \nu B = 7,9 \text{ мВт.}$$

$$3.95. \omega = \sqrt{\frac{2(M\alpha - 2\tilde{\nu}SB)}{J}} = 23,2 \text{ рад/с.}$$

$$3.96. 14,5 \text{ см/с.}$$

$$3.97. A = \frac{m_0 I_0 I_S}{4R} (4 + \sqrt{2}) = 3,4 \cdot 10^{-11} \text{ Дж.}$$

$$3.98. A = \frac{m_0 P_{m1} P_{m2}}{2\pi \epsilon} \left[\frac{1}{x_0^3} - \frac{1}{(x_0 + a)^3} \right] = 4,8 \cdot 10^{-10} \text{ Дж;}$$

$$F = \frac{3 m_0 P_{m1} P_{m2}}{2\pi \epsilon x_0^4} = 5,8 \text{ нН.}$$

$$3.99. 0,03 \text{ В.}$$

$$3.101. \mathcal{E} = 0,5 \cdot e^{-t} (\text{В}).$$

$$3.102. 0,04 \text{ эВ.}$$

$$3.103. 478 \text{ об/мин.}$$

$$3.104. I_A = 0,8 \text{ А; } I_B = 0,2 \text{ А.}$$

$$3.105. U_1 = 10 \text{ В; } U_2 = 20 \text{ В.}$$

$$3.106. \mathcal{E}_0 = \frac{1}{3} \pi N a^2 B_0 \omega.$$

$$3.107. 0,15 \text{ В.}$$

$$3.108. 40 \text{ мВ.}$$

3.109. В зависимости от направления движения проводника $\mathcal{I}_1 = 4 \text{ А}$ или $\mathcal{I}_1 = 12 \text{ А}$. В покое проводнике $\mathcal{I}_2 = 8 \text{ А}$. При остановке проводника сила тока уменьшается в два раза или увеличивается в полтора раза.

3.110. 10 Н; 250 Вт.

3.111. 1 мВ.

$$3.112. \mathcal{I} = \frac{Bv}{\rho_l \left(1 + \frac{1}{\sin \alpha}\right)}.$$

$$3.113. \mathcal{E} = 2Bv\sqrt{v + (2R - vt)}.$$

$$3.114. \mathcal{E} = \sqrt{\frac{8w}{a}} \cdot By.$$

3.115. 0,12 мкА.

$$3.116. \Delta s = \frac{mRv}{B^2 d^2}; Q = \frac{mv_0^2}{2}.$$

$$3.117. \dot{i} = \frac{\mu_0 I v d}{2\pi R x}.$$

$$3.118. \mathcal{E} = \frac{\mu_0 a b I}{2\pi} \cdot \frac{v}{(a+x)x}.$$

$$3.119. \text{ а) } \mathcal{I} = \frac{\mu_0 I_0 v}{2\pi R} \ln \frac{b}{a}; \text{ б) } \mathcal{I} = \frac{v}{R} \left(\frac{\mu_0 I_0}{2\pi} \ln \frac{b}{a} \right)^2.$$

$$3.120. \mathcal{E} = \frac{3}{2} w l \frac{dB}{dt} t^2 = 12 \text{ мВ}.$$

$$3.121. v = \frac{mgR}{B^2 l^2} \left[1 - \exp\left(-\frac{B^2 l^2 t}{m\gamma}\right) \right].$$

$$3.122. v = \frac{mgR}{B^2 l^2 - mg\kappa}. \quad \text{Равномерное движение не всегда достижимо.}$$

$$3.123. a = \frac{mg}{m + C B^2 l^2}; \mathcal{I} = \frac{C B l mg}{m + C B^2 l^2}.$$

$$3.124. q = \frac{\mu_0 I d S}{4\pi \rho (a+b)} \ln \frac{a+b}{a-a}.$$

3.125. 20 мВ.

$$3.126. \mathcal{U} = \pi \nu B [x^2 - (1-x)^2];$$

$$\mathcal{U} = \begin{cases} \pi \nu B \ell^2 & \text{при } x = \ell \\ 0 & \text{при } x = \frac{1}{2} \ell \\ \frac{\pi \nu B \ell^2}{2} & \text{при } x = \frac{3}{4} \ell. \end{cases}$$

$$3.127. 314 \text{ мА.}$$

$$3.128. \mathcal{E} = \pi \nu R^2 B; \quad q = \frac{\pi N e^2 B}{R}; \quad Q = \frac{\pi^2 N \nu^2 B^2}{R}.$$

$$3.129. \mathcal{U} = \frac{B \ell \sqrt{2 q \ell}}{2} = 0,16 \text{ мкВ.}$$

$$3.130. \mathcal{E} = \frac{\omega d^2 B}{2}.$$

$$3.131. \mathcal{E} = a b B_0 [\omega' \cos \omega t + \sin(\omega' t - \varphi) + \omega \sin \omega t + \cos(\omega' t - \varphi)];$$

$$1) \mathcal{E}_1 = a b \omega B_0 \sin 2\omega t; \quad 2) \mathcal{E}_2 = a b \omega B_0 \cos 2\omega t.$$

$$3.132. q = \frac{N B S}{R} = 0,3 \text{ мкЛ.}$$

$$3.133. q = 0,1 \text{ мкЛ.}$$

$$3.134. N = \frac{M_0 H \nu S}{2 g e}.$$

$$3.135. q = \frac{m B_0}{4 \pi \rho D} = 0,053 \text{ Кл} \quad (\rho - \text{удельное сопротивление меди, } D - \text{ее плотность}).$$

$$3.136. Q = \frac{a^2 \tau^3}{3 R}.$$

$$3.137. E = \begin{cases} \frac{1}{2} M_0 n \frac{d\vec{i}}{dt} \cdot \vec{r} & \text{при } a < r; \\ \frac{1}{2} M_0 n a^2 \frac{d\vec{i}}{dt} \cdot \frac{\vec{r}}{2} & \text{при } a > r. \end{cases}$$

$$3.138. 0,2 \text{ А.}$$

$$3.139. \vec{\omega} = - \frac{q}{2 m} \vec{B}(t).$$

$$3.140. \gamma = \frac{\kappa h}{4 \rho} (\ell^2 - a^2).$$

$$3.142. 1000.$$

$$3.143. L = \frac{\mu_0 R^2 l^2}{4\pi s^2 l} = 55 \text{ мкГн.}$$

$$3.144. \tau = \frac{\mu_0 m}{4\pi s D l} \approx 0,7 \text{ мс} \quad (s - \text{удельное сопротивление, } D - \text{плотность меди}).$$

$$3.145. I \text{ мГн.}$$

$$3.146. L = \frac{\mu_0 N^2 a}{2\pi} \ln \frac{a+b}{b}.$$

$$3.147. L = \frac{\mu_0}{2\pi} \ln \frac{b}{a} = 0,46 \text{ мкГн/м.}$$

$$3.148. L = \frac{\mu_0 l}{2\pi} \ln \frac{b}{a}.$$

$$3.149. L = \frac{\mu_0}{\pi} \ln \frac{d-a}{a}.$$

$$3.150. 1) 0; 2) 0,2 \text{ Гн}; 3) 0,05 \text{ Гн.}$$

$$3.151. 0,16 \text{ В.}$$

$$3.152. \dot{i} = \frac{\mathcal{E}}{L} t.$$

$$3.153. t = \frac{L}{R} \ln \frac{\mathcal{E}_1}{\mathcal{E}_1 - RI} = 13 \text{ мс.}$$

$$3.154. U_{AB} = 0,9 + 2t \quad (\text{единицы СИ}).$$

$$3.155. \text{а) } I_2 = 0,4 \text{ А; б) } I_2 = 7,6 \text{ А; в) } I_2 = 0,4 \text{ А.}$$

$$3.156. \dot{i}_L = \frac{\mathcal{E}}{R} \left[1 - \exp\left(-\frac{Rt}{2L}\right) \right].$$

$$3.157. I_1 = \frac{\mathcal{E} L_2}{(L_1 + L_2)R}; \quad I_2 = \frac{\mathcal{E} L_1}{(L_1 + L_2)R}.$$

$$3.158. Q = \frac{\mathcal{E}_2 L}{2R(R+R_0)} = 3 \text{ мкДж.}$$

$$3.159. 0,3 \text{ мс; } 49 \text{ мкДж.}$$

$$3.160. \text{При замыкании ключа:}$$

$$\dot{i} = \frac{\mathcal{E}(R+z)}{Rz} \left[1 - \frac{R}{R+z} \exp\left(-\frac{zRt}{(R+z)L}\right) \right];$$

$$U = 24(I - e^{-2,4t}) \quad (\text{единицы СИ});$$

При размыкании ключа:

$$i = \frac{\mathcal{E}}{R} \left(1 + \frac{R}{2} e^{-\frac{R}{L}t} \right); U = 24 \left(1 + 99 e^{-240t} \right) \text{ (единицы СИ);}$$

Непосредственно после размыкания ключа:

$$U \approx 2,4 \text{ кВ.}$$

$$3.I61. L_{12} = \sqrt{L_1 L_2}.$$

$$3.I62. L_{12} = 0,6 \text{ Гн.}$$

$$3.I63. 1,5 \text{ мГн; } 5 \text{ мГн.}$$

$$3.I64. L_{12} = \frac{\mu_0 b}{2\pi} \ln \left(1 + \frac{a}{x} \right).$$

$$3.I65. L_{12} = \frac{\mu_0 N h}{2\pi} \ln \frac{b}{a}.$$

$$3.I66. L_{12} = \frac{\mu_0 \pi a^2}{2b}; \Phi_{12} = \frac{\mu_0 \pi a^2}{2b} J.$$

$$3.I67. P_m = \frac{2aRq}{\mu_0 N}.$$

$$3.I68. L_{12} = \frac{\mu_0 \pi R^4}{2h^3}.$$

$$3.I69. i_2 = \frac{L_{12} \alpha}{R} \left(1 - e^{-\frac{R}{L_2}t} \right).$$

$$3.I70. Q = \frac{\mu_0^2 \pi^3 a h N^2 D^3 \nu^2 J^2}{4 \rho H^2} = 100 \text{ Дж.}$$

$$3.I71. Q = \frac{\mu_0^2 \pi^3 h N^2 \nu^2 D^4 J^2}{32 \rho H^2} = 980 \text{ Дж.}$$

$$3.I72. 700.$$

$$3.I73. 700.$$

$$3.I74. \text{Увеличить на } 390 \text{ 000.}$$

$$3.I75. 1) \Phi_1 = 1,2 \text{ мВб; } \mu_1 = 1500;$$

$$2) \Phi_2 = \Phi_1 \text{ (или 0); } \mu_2 = \mu_1;$$

$$3) \Phi_3 = 1,35 \text{ мВб (или 0); } \mu_3 = 850.$$

$$3.176. H = 1500 \text{ А/м}; B = 1,2 \text{ Тл}; \mu = 600; j = 1 \text{ МА/м}.$$

$$3.177. B_0 = \frac{R}{S R} (q - q') = 0,8 \text{ Тл};$$

$$j_0 = \frac{R}{\mu_0 S} (q - q') = 600 \text{ кА/м}.$$

$$3.178. 2 \text{ А}.$$

$$3.179. 1 \text{ Тл}.$$

$$3.180. 7,7 \text{ А}.$$

$$3.181. W = \frac{\mu_0 R^2 \omega^2}{8 \pi}.$$

$$3.182. \frac{u_m}{u_e} = 4,4 \cdot 10^{-15}.$$

$$3.183. \text{а) } 2 L; \text{б) } \frac{L}{2}.$$

$$3.184. 25 \text{ мДж. При выключении одной обмотки энергия уменьшится в четыре раза.}$$

$$3.185. 0,17 \text{ Дж}.$$

$$3.186. \text{Увеличится в } 1700 \text{ раз}.$$

$$3.187. W = \frac{N \Phi J}{2} = 0,5 \text{ Дж}.$$

$$3.188. W = \pi^2 v^2 R^2 B H = 0,5 \text{ Дж}.$$

$$3.189. L = \frac{\pi D S}{d^2} \cdot \frac{B}{H} = 2,2 \text{ Гн}; W = \frac{1}{2} \pi D S B H = 0,4 \text{ Дж}.$$

$$3.190. \text{а) } \frac{u_e}{u_m} = \frac{\mu a}{\pi D} = 3; \text{б) } L = \frac{\mu_0 N^2 S}{a + \frac{\pi D}{\mu}} = 0,15 \text{ Гн}.$$

$$3.191. B = 0.$$

$$3.192. \text{а) } \vec{J}_{\text{см}} = -\vec{J}_{\text{пр}}; \text{б) } j_{\text{см}} = \frac{q}{\epsilon_0 \epsilon S}.$$

$$3.193. \text{Кроме тока проводимости, следует учесть ток смещения.}$$

$$3.194. E_m = \frac{j_m}{\epsilon_0 \omega S} = 700 \text{ В/м}.$$

$$3.195. H = \frac{\epsilon_0 \epsilon \omega u_m}{2d} \cos \omega t.$$

$$3.196. H = H_m \cos(\omega t + \alpha), \text{ где } H_m = \frac{v u_m}{2d} \sqrt{5 + (\epsilon_0 \epsilon \omega)^2},$$

$$\tan \alpha = \frac{\epsilon_0 \epsilon}{5}.$$

$$3.197. H = \frac{z}{2\pi z} \left[1 - \left(\frac{z}{R} \right)^2 \right], \text{ где } z - \text{ расстояние от оси конденсатора.}$$

$$3.198. \text{ При } z < R \quad j_{\text{сш}} = \frac{\epsilon_0 \ddot{B}}{2} z,$$

при $z > R \quad j_{\text{сш}} = \frac{\epsilon_0 \ddot{B}}{2z} R^2$, где \ddot{B} - мгновенное значение индукции магнитного поля на расстоянии z .

$$3.199. 0,5 \text{ см.}$$

$$3.200. \frac{\Delta x_{\text{пр}}}{\Delta x_{\alpha}} = 1.$$

$$3.201. E = \frac{4Ud}{\ell(1+2D)}.$$

$$3.202. 1,2 \text{ мм.}$$

$$3.203. \alpha = \arctg \frac{e a E}{m v_0^2} = 11^\circ.$$

$$3.204. \operatorname{tg} \alpha = \frac{\kappa a^2}{4} \sqrt{\frac{m}{2 e U^3}}.$$

$$3.205. v = \sqrt[3]{\frac{9 e R h}{2 m}} = 16 \text{ км/с.}$$

$$3.206. 13 \text{ кА/м.}$$

$$3.207. \dot{w}_z = 0; \dot{w}_n = 7 \cdot 10^{15} \text{ м/с}^2.$$

$$3.208. \text{Траектория-окружность радиуса } 10 \text{ м.}$$

$$3.209. 12 \text{ мм; } 5,7 \cdot 10^{-22} \text{ Н}\cdot\text{с; } 4,6 \text{ МГц.}$$

$$3.210. 5 \text{ Мм/с.}$$

$$3.211. 3 \text{ нс.}$$

$$3.212. \ell = \frac{m^2 v^2}{5e}.$$

$$3.213. p_m = \frac{m v^2}{2B}.$$

$$3.214. \frac{p_m}{\ell} = \frac{e}{2m}.$$

$$3.215. \text{ а) } 1840; \text{ б) } 43.$$

$$3.216. 10 \text{ МГц.}$$

$$3.217. t = \frac{\pi m W}{q^2 U B} = 8,2 \text{ мкс.}$$

$$3.218. U \geq \frac{2 \pi^2 v^2 m R \Delta R}{e} = 0,1 \text{ МВ.}$$

$$3.219. а) W = \frac{(zeB)^2}{2m} = 12 \text{ МэВ; б) } \gamma = \frac{1}{\pi z} \sqrt{\frac{W'}{2m}} = 20 \text{ МГц.}$$

$$3.220. 16 \text{ Мм/с.}$$

$$3.221. F = \frac{m E \gamma}{Be} = 20 \text{ мкН.}$$

$$3.222. d = \frac{2 m v}{Be} (1 - \cos \delta) = 0,6 \text{ мм.}$$

$$3.223. \frac{q}{m} = \frac{2 E \Delta x}{a(a+2b)B^2}.$$

$$3.224. а) \text{ Луч отклоняется к востоку;}$$

$$б) 6,3 \cdot 10^{14} \text{ м/с}^2;$$

$$в) 3 \text{ мм.}$$

$$3.225. U = (qB \sqrt{\frac{2W}{m}} - \frac{4W}{v_1+v_2}) \frac{v_1+v_2}{2q} \ln \frac{v_2}{v_1},$$

где q - заряд, а m - масса α -частицы.

$$3.226. \alpha = 2 \arctg \frac{e v_0 B}{m v_0}, \text{ где } e \text{ и } m \text{ суть заряд и масса электрона.}$$

$$3.227. \alpha = \arcsin B d \sqrt{\frac{q}{2mU}} = 30^\circ.$$

(q и m суть заряд и масса протона).

$$3.228. \text{ Траектория - винтовая линия, радиус которой равен } 3,5 \text{ см, радиус кривизны } 14 \text{ см, шаг } 38 \text{ см.}$$

$$3.229. \text{ Траектория - винтовая линия радиус которой } r = \frac{a E}{v_0 B} = 4 \text{ мм, шаг } h = \frac{2 \pi m v_0}{Be} = 2,4 \text{ см.}$$

$$3.230. \gamma = \frac{2 \pi}{m_0 c^2} \sqrt{\frac{2 U m}{e}} = 2,5 \text{ А.}$$

$$3.231. \frac{e}{m} = \frac{8 \pi^2 U}{m^2 n^2 g^2 r^2} = 1,77 \cdot 10^{11} \text{ Кл/кг.}$$

$$3.232. \text{ а) } y_n = \frac{2\pi^2 m E n^2}{q B^2}; \text{ б) } \operatorname{tg} \alpha = \frac{v_0 B}{2\pi E n}.$$

$$3.233. a = 2r \left| \sin \frac{\varphi}{2} \right|, \text{ где } r = \frac{mv \sin \alpha}{Be}, \text{ а}$$

$$\varphi = \frac{Ble}{mv \cos \alpha}.$$

$$3.234. z_{\max} = a \exp\left(\frac{v_0}{b}\right), \text{ где } b = \frac{moe}{2\pi m} \gamma.$$

$$3.235. x = a(\omega t - \sin \omega t), y = a(1 - \cos \omega t), \text{ где}$$

$$a = \frac{mE}{bB^2} \text{ и } \omega = \frac{qB}{m}.$$

Траектория - циклоида, шаг которой равен $\frac{8me}{qB^2}$, а высота вершины $2a$.

$$3.236. u = \frac{2e}{m} \left(\frac{m_0 \gamma}{4\pi} \right)^2 \ln \frac{b}{a}.$$

$$3.237. B < \frac{2b}{b^2 - a^2} \sqrt{\frac{2m}{e}} u.$$

$$3.238. v = \frac{q r B}{2m}, \quad \rho = \frac{r}{2}.$$

$$3.239. 5 \cdot 10^6 \text{ оборотов; } 8 \text{ мм.}$$

$$3.241. W = \frac{2\pi e r^2 B}{\Delta t} = 100 \text{ эВ.}$$

$$3.242. \rho = \frac{B\gamma}{a}.$$

$$3.243. 7 \text{ мРБ.}$$

$$3.245. P = \pi \gamma \gamma B r^2 = 20 \text{ мВт.}$$

$$3.246. p = \frac{1}{2} m_0 n^2 \gamma^2.$$

$$3.247. \gamma = \sqrt{\frac{2F}{m_0 n R}}.$$

$$3.248. R = \frac{\rho d}{S}; \quad \rho_{\max} = \frac{B^2 S v^2 d}{4\rho}.$$

$$3.249. u_x = \frac{m_0 \gamma^2}{4\pi^2 e n R e} = 0,22 \text{ нВ.}$$

$$3.250. n_e = 2,5 \cdot 10^{28} \text{ л/м}^3 \approx n_a.$$

$$3.251. 3,2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2/(\text{В} \cdot \text{с}).$$

$$4.1. 12,7 \text{ мГн.}$$

$$4.2. 160 - 460 \text{ кГц.}$$

$$4.3. T = 2 \text{ нс}; L = 0,34 \text{ Гн}; i = 0,028 \cos(10^3 \pi t + \frac{\pi}{2})$$

(в единицах СИ).

$$4.4. I_m = \frac{U_m}{\sqrt{\frac{L}{C}}} = 0,45 \text{ А.}$$

$$4.5. 5 \text{ мс}; 25 \text{ В}; 0,63 \text{ мкФ}; 0,2 \text{ мДж.}$$

$$4.6. 62 \text{ мДж.}$$

$$4.7. U^2 + \frac{L}{C} i^2 = U_C^2.$$

$$4.8. i = I_m \sin \omega t, \text{ где } I_m = \frac{U_0}{\sqrt{\frac{L}{C}}}; \mathcal{E} = \frac{U_0}{\sqrt{2}}.$$

$$4.9. T_0 = 0,7 \text{ мс}; I_m = 8 \text{ А.}$$

$$4.10. \# = W(\eta^2 - 1).$$

$$4.11. 0,62.$$

$$4.12. \text{Практически не изменится.}$$

$$4.13. 8 \text{ мс}; 0,7; u = 80 e^{-87t} \cos 800t \text{ (единицы СИ).}$$

$$4.14. \text{Колёбания возникнут только при последовательном соединении конденсаторов.}$$

$$4.15. 0,22; 11,2 \text{ Ом.}$$

$$4.16. \text{Уменьшится в } 1,04 \text{ раза.}$$

$$4.17. W_0 = 38 \text{ мкДж}; W = 5,1 \text{ мкДж.}$$

$$4.18. \gamma = \frac{R \lg e}{2 L} = 5 \text{ Гц.}$$

$$4.19. Q = 2,45; \frac{\Delta Q}{Q} = 2 \%. \quad \frac{\Delta Q}{Q}$$

$$4.20. \tau = \frac{Q}{\pi \gamma} \ln \eta = 0,5 \text{ мс.}$$

$$4.21. N = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{4L}{R^2 C}} - 1 = 16.$$

$$4.22. \chi = \frac{1}{8 Q^2} = 0,5 \, \%.$$

$$4.23. \chi = \exp\left(-\frac{4\pi\nu_0\tau}{\sqrt{4Q^2+1}}\right) = 4,3 \, \%.$$

$$4.24. \tau = \frac{Q \ln \eta}{2\pi \nu_0} = 1 \, \text{мс}.$$

$$4.25. \omega = \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{1}{4R^2C^2}}; \quad R > \frac{1}{2} \sqrt{\frac{L}{C}}$$

$$4.26. \omega = \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{1}{4R^2C^2}}; \quad Q = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{4R^2C^2}{L} - 1}.$$

$$4.27. Q \approx \frac{U_m^2}{2 P_{\text{ср}}} \sqrt{\frac{C}{L}} = 100.$$

$$4.28. 0,2 \, \text{мВт}.$$

$$4.29. P = \frac{U_0^2 RC}{2L} = 10 \, \text{мкВт}.$$

$$4.30. 3,2 \, \text{А}.$$

$$4.31. I_{\text{эф}} = 0,25 \, \text{А}; \quad I_{\text{ср}} = 0,125 \, \text{А}.$$

$$4.32. \text{а) } I_{\text{эф}} = \frac{2}{\sqrt{3}} I_{\text{ср}}; \quad \text{б) } I_{\text{эф}} = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} I_{\text{ср}}.$$

$$4.33. I_{\text{эф}} = 18 \, \text{мА}; \quad I_{\text{ср}} = 10 \, \text{мА}.$$

$$4.34. I_{\text{пол}} = 3,2 \, \text{А}; \quad I_{\text{перем}} = 5 \, \text{А}.$$

$$4.35. U = 45 \, \text{В}; \quad U' = 141 \, \text{В}.$$

$$4.36. 8,8 \, \text{час}.$$

$$4.37. 157 \, \text{В}; \quad 314 \, \text{В}.$$

$$4.38. 0,127 \, \text{А}.$$

$$4.39. U_{\text{AB}} \approx 2 U_m, \text{ где } U_m - \text{амплитудное значение напряжения на СД}.$$

$$4.40. 137 \, \text{Ом}.$$

$$4.41. \tan \varphi = \frac{\mu_0 \pi^2 \nu a}{4 \beta n}.$$

- 4.42. 0,15 Гн
- 4.43. 26 мГн; $53,7^\circ$.
- 4.44. 7,1 А; 64 В; 252 Вт; $u = 90 \sin(500t + 56,3^\circ)$ (единицы СИ).
- 4.45. 390 Вт; 260 Вт; 650 Вт; 127 В.
- 4.46. 45 Ом; 180 Вт.
- 4.47. 100 Вт; 60 Вт.
- 4.48. 73 мГн; 15,6 Ом; 390 Вт.
- 4.49. $P = \frac{I}{2R} (U^2 - U_1^2 - U_2^2)$.
- 4.50. 80 В; 75 В.
- 4.51. 60° .
- 4.52. $48,4^\circ$; $3,2^\circ$.
- 4.53. $u' = U_m + U_c \cos(\omega t - \varphi)$, где $U_c = \frac{U_m}{\sqrt{1 + (\omega CR)^2}}$;
 $\tan \varphi = \frac{I}{\omega CR}$; $CR = \frac{\sqrt{r^2 - 1}}{\omega} = 22 \text{ мс}$.
- 4.54. 100 В; 6,2 А; $i = 8,8 \sin(628t + 79,3^\circ)$ (единицы СИ); 115 Вт.
- 4.55. 5,5 мкФ; $69,2^\circ$.
- 4.56. $R = 18,4 \text{ Ом}$; $C = 65 \text{ мкФ}$.
- 4.57. 0,28 А; $88,5^\circ$.
- 4.58. 1 Гн.
- 4.59. $C = 400 \text{ мкФ}$; $X_C = 8 \text{ Ом}$.
- 4.60. $I_m = 4,5 \text{ А}$; ток опережает напряжение по фазе на $\varphi = 63^\circ$; $U_c = 650 \text{ В}$; $U_L = 480 \text{ В}$.
- 4.61. $U_L = 156 \text{ В}$; $U_c = 216 \text{ В}$; $U_e = 36 \text{ В}$.
- 4.62. $R_{gp} = 10,9 \text{ Ом}$; $P_{\text{реост}} = 846 \text{ Вт}$; $P_{gp} = 925 \text{ Вт}$;
 $\cos \varphi = 0,875$.
- 4.63. $C = 100 \text{ мкФ}$; $P_a = 446 \text{ Вт}$; $P_{\text{полн}} = 1470 \text{ Вт}$;
 $P_a' = P_{\text{полн}}' = 4840 \text{ Вт}$.

4.64. 54,4 Ом; 100 мкФ.

4.65. $\Delta P = \frac{P^2}{U^2 \cos^2 \varphi} R = 3,2 \text{ кВт.}$

4.66. Если $|X| \geq R_0$, то $P_2 \geq P_1$.

4.67. $I_{\text{эп}} = 9,8 \text{ А; } u_R = 138 \sin(314t - 63,4^\circ);$
 $u_L = 690 \sin(314t - 18,4^\circ);$
 $u_C = 414 \sin(314t - 108,4^\circ)$
 (единицы СИ);

$P_a = 960 \text{ Вт; } P = 2146 \text{ ВА; } P_{\text{реакт}} = 1910 \text{ ВАР.}$

4.68. 38,7 Гц; 21,9 А; 848 В.

4.69. $\omega_{\text{рез}} = 10^5 \text{ рад/с; } \gamma = 1,5 \text{ А;}$
 $U_R = 30 \text{ В; } U_L = 150 \text{ В; } U_C = 150 \text{ В.}$

4.70. $\omega = \sqrt{\omega_0^2 - 2\beta^2}$, где $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$, $\beta = \frac{R}{2L}$.

4.71. $\omega = \frac{\omega_0^2}{\sqrt{\omega_0^2 - 2\beta^2}}$, где $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$, $\beta = \frac{R}{2L}$.

4.72. $\gamma = 18,1 \text{ А; } i = 25,6 \sin 314t$ (единицы СИ).

4.73. $I_1 = 12,7 \text{ А; } I_2 = 5 \text{ А; } \gamma = 13,6 \text{ А;}$
 $i = 19,2 \sin(1256t - 21,6^\circ)$ (единицы СИ).

4.74. 50 Гц.

4.75. 0,35 Гн; 138 Ом.

4.76. $P = \frac{R}{2} (\gamma^2 - \gamma_1^2 - \gamma_2^2).$

4.77. $I_1 = 12,7 \text{ А} = I_2; \gamma = 17,9 \text{ А; } P = 4,8 \text{ кВт.}$

4.78. $Z = \frac{R}{\sqrt{1 + (\omega CR)^2}}.$

4.79. $I_C = 0,96 \text{ А; } I_{\text{эп}} = 0,56 \text{ А; } \gamma = 0,51 \text{ А.}$

4.80. $I_C = 0,33 \text{ А; } I_{LR} = 0,30 \text{ А; } \gamma = 0,03 \text{ А.}$

4.81. $Z = 527 \text{ Ом.}$

4.82. 4 А.

$$4.83. C = 10 \text{ мкФ}; I_L = 0,404 \text{ А}; I_C = 0,399 \text{ А}; I = 0,06 \text{ А}.$$

$$4.84. C = 6,6 \text{ мкФ}; Z = 12 \text{ кОм}.$$

$$4.85. \gamma = 5 \text{ кГц}; I_C = 7,04 \text{ А}; I_L = 6,95 \text{ А}.$$

$$4.86. \Delta\lambda = -50 \text{ м}.$$

$$4.87. \tau = \frac{2d}{c \ln \frac{\epsilon_1}{\epsilon_2 \sigma}} (\sqrt{\epsilon_1} - \sqrt{\epsilon_2}).$$

$$4.88. \frac{I_{np}}{I_{см}} = \frac{2\pi \epsilon_0 \epsilon \gamma}{2\pi \epsilon_0 \epsilon \gamma} = 2.$$

$$4.89. \vec{H} = \frac{I}{K} \sqrt{\frac{\epsilon_0}{\mu_0}} [\vec{k}, \vec{E_m}] \cos(ckt) \quad (c - \text{скорость распространения света}).$$

$$4.90. \text{ а) } \vec{H} = \vec{E_z} E_m \sqrt{\frac{\epsilon_0}{\mu_0}} \cos KX = -30 \vec{E_z};$$

$$\text{ б) } \vec{H} = \vec{E_z} E_m \sqrt{\frac{\epsilon_0}{\mu_0}} \cos(ck t_0 - KX) = 0,18 \vec{E_z}.$$

(c - скорость распространения света).

$$4.91. U_x = U_m \cos \frac{n\pi x}{\ell}; I_x = I_m \sin \frac{n\pi x}{\ell};$$

$$\gamma_n = \frac{nc}{2\ell}, \text{ где } n = 1, 2, 3, \dots, c - \text{скорость распространения электромагнитной волны}.$$

$$4.92. U_x = U_m \sin \frac{n\pi x}{\ell}; I_x = I_m \sin \frac{n\pi x}{\ell};$$

$$\gamma_n = \frac{nc}{2\ell}, \text{ где } n = 1, 2, 3, \dots, c - \text{скорость распространения электромагнитной волны}.$$

$$4.93. U_x = U_m \cos\left(\frac{2n+1}{2} \cdot \frac{\pi x}{\ell}\right); I_x = I_m \sin\left(\frac{2n+1}{2} \cdot \frac{\pi x}{\ell}\right);$$

$$\gamma_n = \frac{c}{\lambda} = \frac{(2n+1)c}{4\ell}, \text{ где } n = 0, 1, 2, 3, \dots$$

c - скорость распространения электромагнитной волны.

$$4.94. \rho = 120 \ln \frac{2D}{d} \cong 470 \text{ Ом}.$$

$$4.95. L = 73,6 \text{ мкГн}; C = 240 \text{ пФ}; \rho = 552 \text{ Ом}.$$

$$4.96. \rho = 138 \text{ Ом}.$$

$$4.97. \rho = 60 \ln \frac{D}{8a} = 97 \text{ Ом.}$$

$$4.98. v = 1,4 \cdot 10^8 \text{ м/с.}$$

$$4.99. \varepsilon = 1,78.$$

$$4.100. T_n = \frac{2\ell\sqrt{\varepsilon}}{nc}, \text{ где } n = 1, 2, 3, \dots, c - \text{ скорость рас-}$$

пространения электромагнитной волны.

$$4.101. \varepsilon = \frac{c^2}{4(\Delta x)^2 v^2} = 2,2.$$

$$4.102. \frac{U_m}{U_x} = 3,86; \frac{I_m}{I_x} = 1,04.$$

$$4.103. I_x = 1,73 \text{ А; } U_x = 500 \text{ В.}$$

$$4.104. \nu_{min} = 3 \text{ кГц.}$$

$$4.105. \rho = \frac{\ln \frac{D}{a}}{2\pi\varepsilon_0\sqrt{\varepsilon}c} = 69 \text{ Ом.}$$

$$4.106. Z = \left| \rho \operatorname{tg} \frac{2\pi\ell}{\lambda} \right|, \text{ где } \rho = \sqrt{\frac{\mu_0}{\varepsilon_0}} \frac{\ln \frac{d}{r}}{\pi} = 298 \text{ Ом;}$$

$$Z_1 = 172 \text{ Ом (сопротивление индуктивное);}$$

$$Z_2 = \infty, \text{ состояние аналогичное резонансу токов,}$$

когда в начале линии находится пучность напря-
жения и узел тока;

$$Z_3 = 516 \text{ Ом, сопротивление емкостное;}$$

$$Z_4 = 0, \text{ состояние аналогичное резонансу напряжений,}$$

когда в начале линии находится узел напряжения
и пучность тока.

$$4.107. \text{ Линия представляет собой индуктивную нагрузку с ин-}$$

дуктивностью 0,23 мГн.

$$4.108. Z = \left| \rho \operatorname{tg} \frac{2\pi\ell}{\lambda} \right| = \left| 298 \operatorname{tg} \frac{2\pi\ell}{6} \right|, \text{ где } \rho - \text{ волновое}$$

сопротивление линии;

1) при $\ell < \frac{\lambda}{4} = 1,5 \text{ м}$ входное сопротивление индук-
тивное;

2) при $\ell = \frac{\lambda}{4} = 1,5 \text{ м}$ состояние аналогичное резо-
нансу токов, когда в начале линии находится узел
тока и пучность напряжения;

3) при $\frac{\lambda}{4} < \chi < \frac{\lambda}{2}$ входное сопротивление емкостное;

4) при $\chi = \frac{\lambda}{2} = 3 \text{ м}$, состояние аналогичное резонансу напряжений, когда в начале линии находится пучность тока и узел напряжения.

4.109. Линия представляет собой емкостную нагрузку с емкостью 1 пФ.

4.110. 3,3 мкГн.

4.111. $Z = 0$ для генератора линия представляет нагрузку аналогичную последовательному резонансному контуру.

4.112. $Z = 1240 \text{ Ом}$.

4.113. а) $Z = \frac{2 \rho^2}{R_0 \ell} = 392 \text{ кОм}$; б) $Z = \frac{R_0 \ell}{2} = 0,5 \text{ Ом}$
(ρ — волновое сопротивление линии).

4.114. а) $Z = \frac{\rho^2}{Z} = 2000 \text{ Ом}$; б) $Z = z = 80 \text{ Ом}$.

4.115. $Z = z = 400 \text{ Ом}$.

4.116. Слева.

4.120. Соответствующая компонента вектора Пойнтинга направлена в сторону оси провода.

4.123. $\phi = 0$.

4.125. 2 нДж.

4.126. $W = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\epsilon_0}{\mu_0}} E_m^2 \tau = 8 \cdot 10^{-11} \text{ Дж}$.

Некоторые постоянные

Масса Земли	$5,96 \cdot 10^{24}$	кг
Масса Солнца	$1,97 \cdot 10^{30}$	кг
Масса Луны	$7,35 \cdot 10^{22}$	кг
Гравитационная постоянная	$6,67 \cdot 10^{-11}$	$\text{м}^3/(\text{кг} \cdot \text{с}^2)$
Средний радиус Земли	$6,37 \cdot 10^6$	м
Среднее расстояние Земли от Солнца ..	$1,49 \cdot 10^{11}$	м
Средний радиус Солнца	$6,96 \cdot 10^8$	м
Радиус Луны	$1,74 \cdot 10^6$	м
Среднее расстояние Луны от Земли ...	$3,84 \cdot 10^8$	м
Ускорение свободного падения на Земле	$g = 9,81$	$\text{м}/\text{с}^2$
Нормальное атмосферное давление	$1,01 \cdot 10^5$	$\text{Н}/\text{м}^2$
Число Авогадро	$N = 6,02 \cdot 10^{26}$	$\text{л}/\text{кмоль}$
Универсальная газовая постоянная ...	$R = 8,31 \cdot 10^3$	$\text{Дж}/(\text{К} \cdot \text{кмоль})$
Постоянная Больцмана	$k = 1,38 \cdot 10^{-23}$	$\text{Дж}/\text{К}$
Объем одного киломоля газа при нормальных условиях	$22,4$	$\text{м}^3/\text{кмоль}$
Число Фарадея	$9,65 \cdot 10^7$	$\text{Кл}/\text{кг} \cdot \text{экв.}$
Элементарный заряд	$e = 1,60 \cdot 10^{-19}$	Кл
Масса покоя электрона	$9,11 \cdot 10^{-31}$	кг
Масса покоя протона	$1,67 \cdot 10^{-27}$	кг
Скорость света в вакууме	$c = 3 \cdot 10^8$	$\text{м}/\text{с}$
Постоянная Планка	$h = 6,63 \cdot 10^{-34}$	$\text{Дж} \cdot \text{с}$
Постоянная Стефана-Больцмана	$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}$	$\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$
Постоянная Вина	$C = 2,90 \cdot 10^{-3}$	$\text{м} \cdot \text{К}$
Постоянная Ридберга	$R_\infty = 1,10 \cdot 10^7$	$\text{л}/\text{м}$
Магнетон Бора	$\mu_B = 0,93 \cdot 10^{-23}$	$\text{Дж}/\text{Тл}$
Радиус Бора	$a_0 = 0,53 \cdot 10^{-10}$	м
Электрическая постоянная	$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$	$\text{Ф}/\text{м}$
Магнитная постоянная	$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$	$\text{Гн}/\text{м}$

Плотности некоторых веществ

	(Плотность) $\times 10^{-3}$ кг/м ³		(Плотность) $\times 10^{-3}$ кг/м ³
Алюминий	2,7	Магний	1,74
Бериллий	1,85	Медь	8,9
Бор	2,45	Натрий	0,97
Висмут	9,8	Никель	8,9
Вольфрам	19,1	Олово	7,4
Графит	1,6	Парафин	0,89
Древесина	0,8	Платина	21,5
Железо	7,8	Плутоний	19,8
Золото	19,3	Пробка	0,2
Индий	7,28	Свинец	11,3
Кадмий	8,65	Серебро	10,5
Калий	0,86	Сталь	7,7
Кобальт	8,9	Торий	11,7
Латунь	8,4	Тяжелая вода	1,1
Лед	0,9	Уран	19,0
Литий	0,53	Цинк	7,0

Тепловые характеристики некоторых твердых
веществ

Вещество	Температура плавления °C	Удельная теплоем- кость Дж/(кг·К)	Удельная теплота плавления Дж/кг	Коэффици- ент ли- нейного распреде- ния 10^6 1/К
Алюминий	659	896	$3,22 \cdot 10^5$	25
Железо	1530	500	$1,25 \cdot 10^5$	11
Латунь	-	386	-	18
Лед	0	2100	$3,35 \cdot 10^5$	-
Медь	1100	395	$1,76 \cdot 10^5$	17
Олово	232	230	$5,86 \cdot 10^4$	21
Платина	1770	117	$1,13 \cdot 10^5$	8,9
Пробка	-	2050	-	-
Свинец	327	126	$2,26 \cdot 10^4$	29
Серебро	960	234	$8,8 \cdot 10^4$	19
Сталь	-	460	-	12
Цинк	420	391	$1,17 \cdot 10^5$	26

Свойства некоторых жидкостей

Жидкость	Плотность $\times 10^{-3}$ кг/м ³	Удельная теплоем- кость Дж/(кг·К)	Коэффици- ент поверх- ностно- го натя- жения при 20°C Н/м	Коэффици- ент внутрен- него трения при 20°C кг/(м·с)
Бензол	0,88	1720	0,03	$6,5 \cdot 10^{-4}$
Вода	1,00	4190	0,072	$1,0 \cdot 10^{-3}$
Глицерин	1,26	2430	0,064	$8,5 \cdot 10^{-1}$
Керосин	0,80	2140	0,026	-
Мыльная вода	1,00	4190	0,040	-
Ртуть	13,60	138	0,49	$1,6 \cdot 10^{-3}$
Спирт	0,79	2510	0,022	$1,2 \cdot 10^{-8}$

Эффективные диаметры молекул некоторых газов

Газ	Эффективный диаметр молекулы $\times 10^{10}$ м
Азот (N_2)	3,1
Аргон (Ar)	2,8
Водород (H_2)	2,3
Водяной пар (H_2O)	2,6
Гелий (He)	1,9
Кислород (O_2)	2,9
Угарный газ (CO)	3,2
Углекислый газ (CO_2)	3,2

Удельные сопротивления при 0 °С и температурные коэффициенты сопротивления некоторых проводников

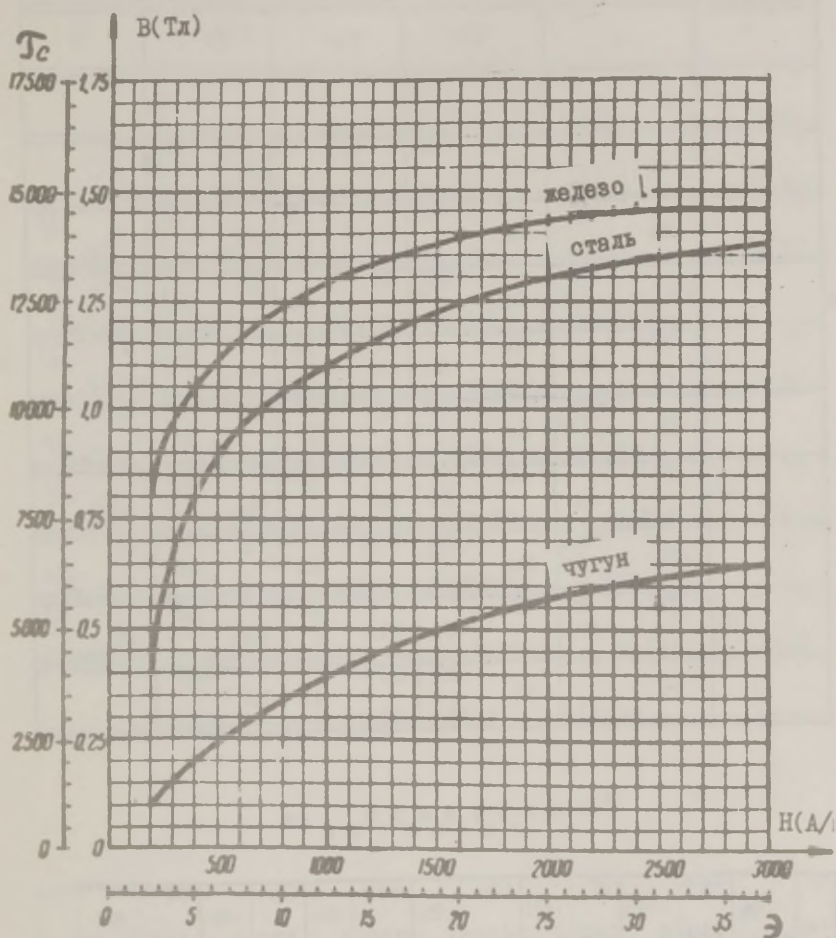
Вещество	Удельное сопротивление $\times 10^8$ Ом·м	Температурный коэффициент 1/К
Алюминий	3,2	$4,2 \cdot 10^{-3}$
Вольфрам	5,5	$6 \cdot 10^{-3}$
Железо	12	$6 \cdot 10^{-3}$
Медь	1,7	$4 \cdot 10^{-3}$
Никелин	40	$3 \cdot 10^{-4}$
Платина	11	$3,65 \cdot 10^{-3}$
Свинец	21	$4,2 \cdot 10^{-3}$
Уголь	4000	$-8 \cdot 10^{-4}$

Относительные диэлектрические проницаемости (ϵ)
некоторых диэлектриков*

Вещество	ϵ
Азот	1,00058
Водород	1,00027
Воздух	1,00057
Гелий	1,00007
Кислород	1,00055
Ацетон	21
Бензин	2
Вода	80
Глицерин	39
Касторовое масло	4,0 - 4,5
Керосин	2,1
Нефть	2,0 - 2,2
Трансформаторное масло	2,2 - 2,5
Этиловый спирт	26
Эфир	4,4
Бумага	2,0 - 2,5
Винилопласт	4,1
Гетинакс	3,5 - 6,5
Древесина	2,2 - 3,7
Лёд	3,2
Мрамор	8 - 10
Парафин	2
Плексиглас	3,0 - 3,6
Полистирол	2,5
Стекло	5 - 16
Эбонит	4,0 - 4,5

* Приведенные значения ϵ отвечают комнатной температуре и нормальному атмосферному давлению.

Зависимость индукции магнитного поля B от напряженности H



Периодическая система

Периоды	Группы				
	I	II	III	IV	V
1	H 1,008				
2	Li 6,94	Be 9,01	B 10,81	C 12,01	N 14,01
3	Na 22,99	Mg 24,31	Al 26,98	Si 28,09	P 30,97
4	K 39,10	Ca 40,08	Sc 44,96	Ti 47,90	V 50,94
	Cu 63,54	Zn 65,37	Ga 69,72	Ge 72,59	As 74,92
5	Rb 85,47	Sr 87,62	Y 88,91	Zr 91,22	Nb 92,91
	Ag 107,9	Cd 112,4	In 114,8	Sn 118,7	Sb 121,8
6	Cs 132,9	Ba 137,3	La 138,9	Hf 178,5	Ta 181,0
	Au 197,0	Hg 200,6	Tl 204,4	Pb 207,2	Bi 209,0
7	Fr (223)	Ra (226)	Ac (227)	Ku (260)	

* Лантаниды

58 Ce 140,1	59 Pr 140,9	60 Nd 144,2	61 Pm (145)	62 Sm 150,4	63 Eu 152,0	64 Gd 157,3
65 Tb 158,9	66 Dy 162,5	67 Ho 164,9	68 Er 167,3	69 Tu 168,9	70 Yb 173,0	71 Lu 175,0

элементов Д. И. Менделеева

Г р у п п ы							
VI	VII	VIII				0	
						He	2
							4,00
8 O 16,00	9 F 19,00					Ne	10
							20,18
16 S 32,06	17 Cl 35,45					Ar	18
							39,95
24 Cr 52,00	25 Mn 54,94	26 Fe 55,85	27 Co 58,93	28 Ni 58,71			
34 Se 78,96	35 Br 79,91					Kr	36
							83,80
42 Mo 95,94	43 Tc (97)	44 Ru 101,1	45 Rh 102,9	46 Pd 106,4			
52 Te 127,6	53 I 126,9					Xe	54
							131,3
74 W 183,9	75 Re 186,2	76 Os 190,2	77 Ir 192,2	78 Pt 195,1			
83 Po (209)	85 At (210)					Rn	86
							222

** А К Т И Н И Д ы

90 Th 232,0	91 Pa (231)	92 U 238,0	93 Np (237)	94 Pu (244)	95 Am (243)	96 Cm (247)
97 Bk (247)	98 Cf (251)	99 Es (254)	100 Fm (253)	101 Md (256)	102 No (256)	103 Lw (257)

Примечание. По техническим причинам в таблицу не вписались названия элементов:

1) H - водород	34) Se - селен
2) He - гелий	35) Br - бром
3) Li - литий	36) Kr - криптон
4) Be - бериллий	37) Rb - рубидий
5) B - бор	38) Sr - стронций
6) C - углерод	39) Y - иттрий
7) N - азот	40) Zr - цирконий
8) O - кислород	41) Nb - ниобий
9) F - фтор	42) Mo - молибден
10) Ne - неон	43) Tc - технеций
11) Na - натрий	44) Ru - рутений
12) Mg - магний	45) Rh - родий
13) Al - алюминий	46) Pd - палладий
14) Si - кремний	47) Ag - серебро
15) P - фосфор	48) Cd - кадмий
16) S - сера	49) In - индий
17) Cl - хлор	50) Sn - олово
18) Ar - аргон	51) Sb - сурьма
19) K - калий	52) Te - теллур
20) Ca - кальций	53) I - иод
21) Sc - скандий	54) Xe - ксенон
22) Ti - титан	55) Cs - цезий
23) V - ванадий	56) Ba - барий
24) Cr - хром	57) La - лантан
25) Mn - марганец	58) Ce - церий
26) Fe - железо	59) Pr - празеодим
27) Co - кобальт	60) Nd - неодим
28) Ni - никель	61) Pm - прометий
29) Cu - медь	62) Sm - самарий
30) Zn - цинк	63) Eu - европий
31) Ga - галлий	64) Gd - гадолиний
32) Ge - германий	65) Tb - тербий
33) As - мышьяк	66) Dy - диспрозий

67) Ho - гольмий
68) Er - эрбий
69) Tm - тулий
70) Yb - иттербий
71) Lu - лютеций
72) Hf - гафний
73) Ta - тантал
74) W - вольфрам
75) Re - рений
76) Os - осмий
77) Ir - иридий
78) Pt - платина
79) Au - золото
80) Hg - ртуть
81) Tl - таллий
82) Pb - свинец
83) Bi - висмут
84) Po - полоний
85) At - аstat

86) Rn - радон
87) Fr - франций
88) Ra - радий
89) Ac - актиний
90) Th - торий
91) Pa - протактиний
92) U - уран
93) Np - нептуний
94) Pu - плутоний
95) Am - америций
96) Cm - кюрий
97) Bk - берклий
98) Cf - калифорний
99) Es - эйнштейний
100) Fm - фермий
101) Md - менделевий
102) No - нобелий
103) Lw - лоуренций
104) Ku - курчатовий

Литература

1. Стрелков С.Л., Сивухин Д.В., Хайкин С.Э., Эльцин И.А., Яковлев И.А. Сборник задач по общему курсу физики. Электричество и магнетизм. — Изд. четвертое. — М., Наука, 1977.
2. Иродов И.Е. Задачи по общей физике. — М., Наука, 1979.
3. Горбунова О.И., Зайцева А.М., Красиков С.Н. Задачник-практикум по общей физике. Электричество и магнетизм. — М., Просвещение, 1975.
4. Фиргант Е.В. Руководство и решению задач по курсу общей физики. — М., Высшая школа, 1977.
5. Новодворская Е.М. Методика проведения упражнений по физике. — Изд. второе. — М., Высшая школа, 1970.

Содержание

I. ЭЛЕКТРОСТАТИКА	3
Взаимодействие точечных зарядов	3
Напряженность электрического поля системы то- чечных зарядов	4
Напряженность электрического поля заряженных тел	5
Диполь в электрическом поле	10
Вычисление напряженности электрических полей по теореме Гаусса	11
Работа перемещения заряда в электрическом поле	14
Потенциал и разность потенциалов	15
Связь между напряженностью электрического поля и его потенциалом	20
Электрическое поле в диэлектриках	21
Проводники в электрическом поле	24
Метод зеркальных изображений	27
Емкость проводников	31
Электрическое поле в конденсаторах	35
Энергия электрического поля	39
2. ЗАКОНЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА	47
Сила и плотность тока	47
Сопротивление проводников	50
Закон Ома	57
Правила Кирхгофа	65
Работа и мощность тока	81
Механизм проводимости в различных условиях ...	91
3. ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМ	105
Магнитное поле электрического тока	105
Сила, действующая на проводник с током в маг- нитном поле	114
Работа перемещения проводника с током в маг- нитном поле	121
Электромагнитная индукция	124

Самоиנדукция	I35
Взаимная индукция	I39
Магнитное поле в ферромагнетиках	I42
Энергия магнитного поля	I43
Ток смещения	I45
Движение заряженных частиц в электрическом и магнитном поле	I47
Эффект Холла	I56
4. ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ	I59
Собственные и свободные электрические колебания	I59
Переменный ток	I64
Электромагнитные волны	I75
Вектор Пойнтинга	I80
Ответы	I83
Приложения	230
Литература	240

СБОРНИК ЗАДАЧ ПО КУРСУ ОБЩЕЙ ФИЗИКИ.
Электричество и магнетизм.
Составитель Калью К у д у.
На русском языке.
Тартуский государственный университет.
ЭССР, 202400, г.Тарту, ул.Оликооли, 18.
Ответственный редактор О. Манкин.
Подписано к печати 9.XI.1988.
Формат 60x84/16.
Бумага ротаторная.
Машинопись. Ротапринт.
Условно-печатных листов 14,18.
Учетно-издательских листов 13,73. Печатных листов 15,25.
Тираж 295.
Заказ № 976.
Цена 45 коп.
Типография ТГУ, ЭССР, 202400, г.Тарту, ул.Тиги, 78.

